

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS

EAP. INVESTIGACIÓN OPERATIVA

**Programación lineal modelo para minimizar la merma
en el proceso de cortes de rollos de película para la
elaboración de fotolitos empresa grupo Digigraf S.A.**

TESIS

para optar el título profesional de licenciado en investigación operativa

AUTOR

José Luis Díaz de Las Casas

Lima – Perú

2013

**PROGRAMACIÓN LINEAL
MODELO PARA MINIMIZAR LA MERMA EN EL
PROCESO DE CORTES DE ROLLOS DE PELÍCULA PARA
LA ELABORACIÓN DE FOTOLITOS
EMPRESA GRUPO DIGIGRAF S.A.**

José Luis Díaz De Las Casas

Tesis presentada a consideración del Cuerpo Docente de la Escuela Académica Profesional de Investigación Operativa de la Facultad de Ciencias Matemáticas, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, como parte de los requisitos para optar el Título de Licenciado en Investigación Operativa.

Aprobada por:

Dra. María Del Pilar Alvarez Rivas
Presidenta

Lic. Lucio Malásquez Ruiz
Miembro

Mg. Carmela Velásquez Pino
Miembro Asesor

Lima – Perú
Agosto 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

José Luis Díaz De Las Casas

Programación Lineal Modelo para minimizar la merma en el proceso de cortes de rollos de película para la elaboración de fotolitos, (Lima) 2013.

x, 102 p., 29,7 cm., (UNMSM, Licenciado en Investigación Operativa, 2013).

Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Investigación Operativa.

i. UNMSM/FdeCM ii. Título (Serie).

CONTENIDO

Presentación y Aprobación.....	ii
Ficha Catalográfica.....	iii
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema.....	3
- 1.1.1 Análisis Situacional de la Empresa.....	6
- 1.1.2 Antecedentes.....	13
- 1.1.3 Trabajos Precedentes.....	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Objetivos	
- 1.3.1. Objetivo General.....	16
- 1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. Importancia y alcances de la Investigación.....	18
1.5. Limitaciones de la investigación.....	19

CAPITULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Hipótesis.....	20
2.2 Definición de Variables.....	20

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Definición de términos.....	21
3.2 Enfoque de Sistemas	
- 3.2.1 Características del Enfoque de Sistemas.....	26
- 3.2.2 El Enfoque de Sistemas Conceptualizado....	27
3.3 El Análisis de Sistemas	
- 3.3.1 Análisis Situacional.....	28
3.4 Programación Lineal.....	33
- 3.4.1 Variables.....	34
- 3.4.2 Restricciones.....	34
- 3.4.3 Función Objetivo.....	35
- 3.4.4 Programación Entera.....	36
- 3.4.5 Aplicaciones.....	36
- 3.4.6 Problemas de Corte de Material.....	37
- 3.4.7 Métodos de Solución para problemas de Programación Lineal.....	39
- 3.4.8 Presentación del Método Simplex.....	41
- 3.4.9 Método de Dos Fases.....	51

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Diseño de la investigación.....	60
4.2 Técnica de recolección de datos.....	67
4.3 Tratamiento estadístico de la información.....	70
- 4.3.1 Cálculo para nivel de Merma.....	70
- 4.3.2 Sub Proceso de cortes de Películas.....	78
4.4 Desarrollo del modelo y experimentación.....	82

4.5 Solución e interpretación de resultados.....	85
- 4.5.1 Solución Método Simplex – Dos Fases....	85
- 4.5.2 Solución Software LINDO.....	91

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
--	-----------

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	101
--------------------------------------	------------

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a cuatro personajes importantes en mi vida:

Dios, quien me dio la oportunidad de estar en este mundo y me brindó la capacidad de poder desarrollarme como profesional y poder llevar a cabo este trabajo.

A la memoria de mi madre, quien desde su descanso me guía, acompaña y me permite siempre triunfar.

A mi tía María De Las Casas, quien apostó por mí, me brindo su apoyo incondicional y en ningún momento dudó de mi capacidad.

Y a mi amiga Grace, que desde un principio fue la persona que más me motivó para concluir esta tesis, fue como mi guía y perseveró impulsándome al desarrollo de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a mi familia entera, y en especial al personal de la empresa GRUPO DIGIGRAF, quienes me brindaron toda su confianza y apoyo en el desarrollo del presente trabajo, quienes apostaron por el cambio y depositaron su confianza en el desarrollo y la implementación del proyecto.

RESUMEN

PROGRAMACIÓN LINEAL – MODELO PARA MINIMIZAR LA MERMA EN EL PROCESO DE CORTES DE ROLLOS DE PELÍCULA PARA LA ELABORACIÓN DE FOTOLITOS EN LA EMPRESA GRUPO DIGIGRAF S.A.

JOSÉ LUIS DIAZ DE LAS CASAS

ASESOR: MG. CARMELA VELÁSQUEZ PINO

TÍTULO OBTENIDO: LICENCIADO EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA

En el presente trabajo de tesis se realiza un Análisis Situacional a la Empresa Grupo Digigraf S.A., haciendo uso de la metodología del Enfoque Sistémico o Enfoque de Sistemas.

El análisis Situacional nos brinda información que sirve de guía para enfocar la realidad de la Empresa. Luego de realizar un análisis minucioso de todos los subsistemas de la institución, se determina que la Empresa cuenta con un serio problema de baja rentabilidad económica que debe resolver; continuando con el Análisis de los procesos internos, se logra identificar que la causa principal que genera este problema es el mal procedimiento que utiliza la empresa para realizar los cortes de rollos de película que se utilizan como insumo principal en el proceso de producción.

Para resolver el problema se utiliza la Programación Lineal que permite construir un Modelo Matemático que describe el problema y para cuya solución utilizamos el Método Simplex que permite obtener la solución óptima que permitirá solucionar el problema y por ende mejorar la situación de la Empresa.

Finalmente, se propone este modelo de solución el cual reemplazará la metodología actual que realiza la empresa, y se recomienda su pronta implementación, para poder favorecer el mejoramiento de la Empresa.

ABSTRACT

LINEAL PROGRAMMING – MODEL TO MINIMIZE WASTE IN THE CUT’S PROCESS OF FILM ROLLS FOR THE FOTOLITOS MANUFACTURE IN GRUPO DIGIGRAF S.A. ENTERPRISE

JOSÉ LUIS DIAZ DE LAS CASAS

ADVISOR: MG. CARMELA VELÁSQUEZ PINO

TITLE OBTAINED: GRADUATE IN OPERATIVE RESEARCH

In this Thesis work is carried out a Situational Analysis to the Grupo Digigraf S.A. Enterprise, using the Systems Approach Methodology or Systemic Approach.

The Situation Analysis provides us with information that guides us to set focus in the reality of the Company. After to make a thorough analysis of all company subsystems, is determined that the company has a serious problem of low profitability economic to be solved; continuing with the analysis of internal processes, is possible to detect that the main cause that generates this problem is the wrong method using by the company to make cuts rolls of film used as the main input in the production process.

To solve the problem is used the Linear Programming that permit build a mathematical model that describe the problem and to solve it we used the Simplex Method for obtain the optimal Solution that will resolve the problem and therefore improve the Company Situation.

Finally, is proposed this model of solution which will replace the current methodology is performed in the company, and is recommended for early implementation, in order to promote the improvement of the Company

INTRODUCCIÓN

En el actual mundo globalizado, en donde se busca ser los mejores en nuestros rubros y competir no solo a nivel nacional sino también a nivel internacional impulsados por los tratados de libre comercio que el estado viene concretando, se vuelve una prioridad que las empresas trabajen a un mismo ritmo en los niveles estratégico, táctico y operativo, con el fin de alcanzar estándares de calidad y productividad que respalde en el camino de ser los primeros, y poder satisfacer a los clientes brindándoles un excelente bien o servicio.

A esta realidad no escapa La Empresa de Pre Prensa GRUPO DIGIGRAF S.A., empresa que se ha ganado un lugar en el mercado nacional, consolidándose en los años 2005 y 2006 como la Empresa Gráfica del año. Con el fin de seguir brindando un buen servicio gráfico a sus clientes, la empresa busca siempre un mejoramiento continuo en el proceso de producción de bienes y servicio que ofrece.

El Análisis de Sistemas permite tener una descripción clara de la empresa y sus necesidades, permitiendo identificar sus principales problemas, las causas y los efectos que estos puedan tener en el futuro. Y con este fin, la empresa realiza el estudio de su sistema organizacional.

Para enfocar el problema se utiliza la metodología de la Teoría de Sistemas, la cual permitirá definir el espacio de estudio y de esta manera determinar cuáles son las actividades o procedimientos que se encuentran comprometidos en el estudio y poder identificar las variables asociadas a estas actividades; para complementar el estudio se hace uso de la metodología del Enfoque de Sistemas que permitirá alimentar de información necesaria al estudio, además de poder realimentar y posteriormente hacer retroalimentación de información necesaria que

permitirá describir perfectamente el problema. Finalmente, utilizando la Metodología de Programación Lineal se construye un modelo matemático, y para obtener la solución óptima al modelo se utiliza el Método Simplex.

Utilizando de esta manera diversas herramientas de la Investigación Operativa se realizará la evaluación y se obtendrá un diagnóstico del sistema, construyendo modelos matemáticos que plantea la solución a sus problemas.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En este mundo tan competitivo donde los tiempos se acortan, nace en el rubro gráfico la empresa gráfica Grupo Digigraf S.A. que brinda servicios en el rubro de Pre Prensa Digital.

En el mundo gráfico, el proceso de Pre Prensa o Pre Impresión, consiste en realizar las actividades necesarias antes de comenzar con la impresión del producto en grandes volúmenes en las imprentas; para realizar estas actividades se requiere de una materia prima la cual se conoce como Diseño, este diseño es el arte gráfico que se desea procesar en imprenta, este Diseño que se encuentra en archivo magnético es procesado en computadoras especializadas donde se les da los acabados y especificaciones técnicas requeridas por los clientes, para finalmente ser procesado en máquinas filmadoras donde este Diseño pasa de un medio magnético a ser filmado en una película, a lo que se conoce como fotolito, y es este fotolito el producto final que una Pre Prensa brinda a sus clientes.

La empresa Grupo Digigraf S. A. tiene 15 años de antigüedad, sin embargo la actividad de esta empresa en el Perú se remonta al año de 1994, en el que se inicia este negocio formándose la empresa Digigraf S.A. la cual más tarde pasa a ser Grupo Digigraf S.A. empresa dedicada a la producción de productos necesarios para las imprentas, tales como fotolitos y posteriormente con el cambio tecnológico placas CTP, los cuales son productos que sirven de insumos de vital importancia para la imprentas, inicialmente se atendía a imprentas pequeñas con el producto bandera de la empresa que eran las películas o fotolitos, luego debido a

los reconocimientos obtenidos por la calidad de sus productos, gana nuevos clientes, esta vez grandes imprentas nacionales.

Grupo Digigraf, participa en el mercado local como proveedor de estas prestigiosas empresas y ocupa en la actualidad uno de los primeros puestos como empresa proveedora de fotolitos a nivel nacional, lo cual los obliga a tener una política de mejoramiento continuo para ofrecer a sus clientes un producto de calidad acorde a la tecnología actual.

La empresa, actualmente tiene una capacidad de producción de 42 Rollos de película en formato 76cm de ancho y 18 rollos de película de formato 108cm de ancho por mes, cuenta para ello con tres Filmadoras de películas, además brinda servicios adicionales de prueba de color Heidelberg, *Best Color* y *MatchPrint*, atendiendo así la demanda de un 30% del mercado local.

La demanda actual que tiene la empresa representa el 70% de su capacidad real y por ello se ve como necesidad el continuar mejorando los procesos con el fin de rendir al 100% de su capacidad.

Con la necesidad de alcanzar estos objetivos, se realizó el análisis situacional de la empresa, en el cual se identificó el problema que la aquejaba, baja rentabilidad económica, la cual se genera por los altos costos de producción.

Se realizó un análisis causa efecto mediante un diagrama de Ishikawa (esquema de espina de un pescado), en el cual se identifica la causa principal que hace que los costos de producción sean altos, encontrándose que el proceso de cortes de rollos de películas no era el adecuado, pues se adquieren rollos de película de 3.5mt de largo, y se necesitan rollos de 76 y 108cm para trabajar en la producción de fotolitos.

La mala práctica de este proceso de cortes de rollos conlleva un alto nivel de mermas y a su vez un alto costo de producción de los mismos.

Con el Problema plenamente identificado se plantea la elaboración de un modelo matemático que nos permita optimizar el consumo de estos rollos

1.1.1 ANÁLISIS SITUACIONAL DE GRUPO DIGIGRAF S.A.

Grupo Digigraf es una Sociedad Anónima con capital netamente Peruano, dedicada única y exclusivamente desde el año 1997 a la Pre Prensa, La empresa hoy en día es catalogada como una de las principales del mercado, y se encuentra luchando por ubicarse en el primer lugar del ranking de empresas gráficas del País. En la actualidad cuenta con un local propio de 200m² ubicado en el Distrito de Miraflores.

Grupo Digigraf se dedica a la producción de fotolitos, insumo principal para la impresión de diseños gráficos; para la elaboración de los fotolitos se utilizan insumos como las películas y los químicos tanto reveladores como fijadores, el abastecimiento de estos insumos se realiza por convenios con socios estratégicos, los cuales se encargan de proveer estos insumos a la empresa, manteniendo así una cadena de abastecimiento continua, cuidando siempre los estándares de calidad del buen estado de materia prima, para poder así brindar un buen producto final.

Grupo Digigraf tiene como clientes a las principales imprentas del mercado, mencionando entre otras a:

- Imprentas ABC
- Circuito Gráfico
- Tarea Gráfica
- Cartolan
- Pool Producciones
- Stampa Gráfica
- La Universidad De Lima
- La Universidad de San Marcos
- Valprint
- Impreso Gráfico Del Sur

- Publindustrias
- Laser Disc
- Termil
- Sunset Photo
- Novaprint
- Sticker Mágico
- One World
- Todo Impreso
- E` Color
- Imprenta Palacios
- MasterGraph
- Gráfica Industrial

MISIÓN DE LA EMPRESA

Enfocados en la atención al cliente se compromete a brindar a sus clientes un producto de excelente calidad, oportunamente y a precios competitivos

VISIÓN DE LA EMPRESA

Ser un equipo humano enfocado en satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes y ser para ellos una extensión de su propia empresa. Ser considerados como parte integrante y comprometida de su organización.

OBJETIVOS DE LA EMPRESA

- Contar con un *staff* de profesionales calificados para realizar las diversas operaciones dentro del proceso productivo.
- Crear y contribuir a un ambiente de trabajo que incentive el compañerismo y el compromiso permanente por la calidad de sus productos.
- Mejorar la situación financiera de la empresa, optando por políticas de mejoramiento continuo.
- Reducir los costos de producción mediante la utilización eficaz y eficiente de los recursos.
- Invertir en equipos y maquinarias de última tecnología que permitan mejorar el proceso de producción.
- Cumplir con los pedidos de los clientes en forma oportuna y con porcentaje de error 0%.
- Lograr un incremento sostenido de las ventas que lleguen a un 5% mensual.
- Recuperar el liderazgo en el rubro de las Empresas gráficas.
- Lograr que los productos finales tenga una mayor aceptación en el mercado local.
- Posicionarse de nuevos mercados aperturando una nueva sucursal en el centro de Lima.

ESTRUCTURA ORGÁNICA

La empresa es dirigida por la Gerencia General, que en coordinación directa con la Gerencia de Ventas llevan las riendas de la empresa.

A la fecha no se cuenta con un manual de Organización y Funciones, pero se pueden describir las funciones principales como son:

- **Gerencia General**

Está a cargo de la propietaria, quien toma las decisiones más importantes y delega otras funciones al Gerente de Ventas.

- **Gerencia de Ventas**

Encargada de dirigir la empresa, toma las decisiones primordiales dentro de la organización, contrata al personal, evalúa las ventas y autoriza las compras de insumos y materiales.

- **Contabilidad**

Se cuenta con una contadora y 3 practicantes, que tienen como función principal llevar la contabilidad general de la empresa, cuyas funciones principales son el pago de planillas, pago a proveedores y administrar las cobranzas.

- **Departamento de Producción**

Es el principal departamento de la Empresa ya que son los encargados de producir el servicio brindado, a su vez se encuentra constituido por:

- ❖ Unidad de Producción
- ❖ Unidad de Diseño

Tienen bajo su responsabilidad el control de la producción, cuentan con una constante comunicación con los clientes, haciendo seguimiento y monitoreo a las órdenes de producción.

- **Departamento de Ventas**

Constituido por un *pool* de vendedores, los cuales tienen como principal función el realizar visitas a las distintas imprentas, con el fin de presentarles el producto y poder generar nuevas ventas.

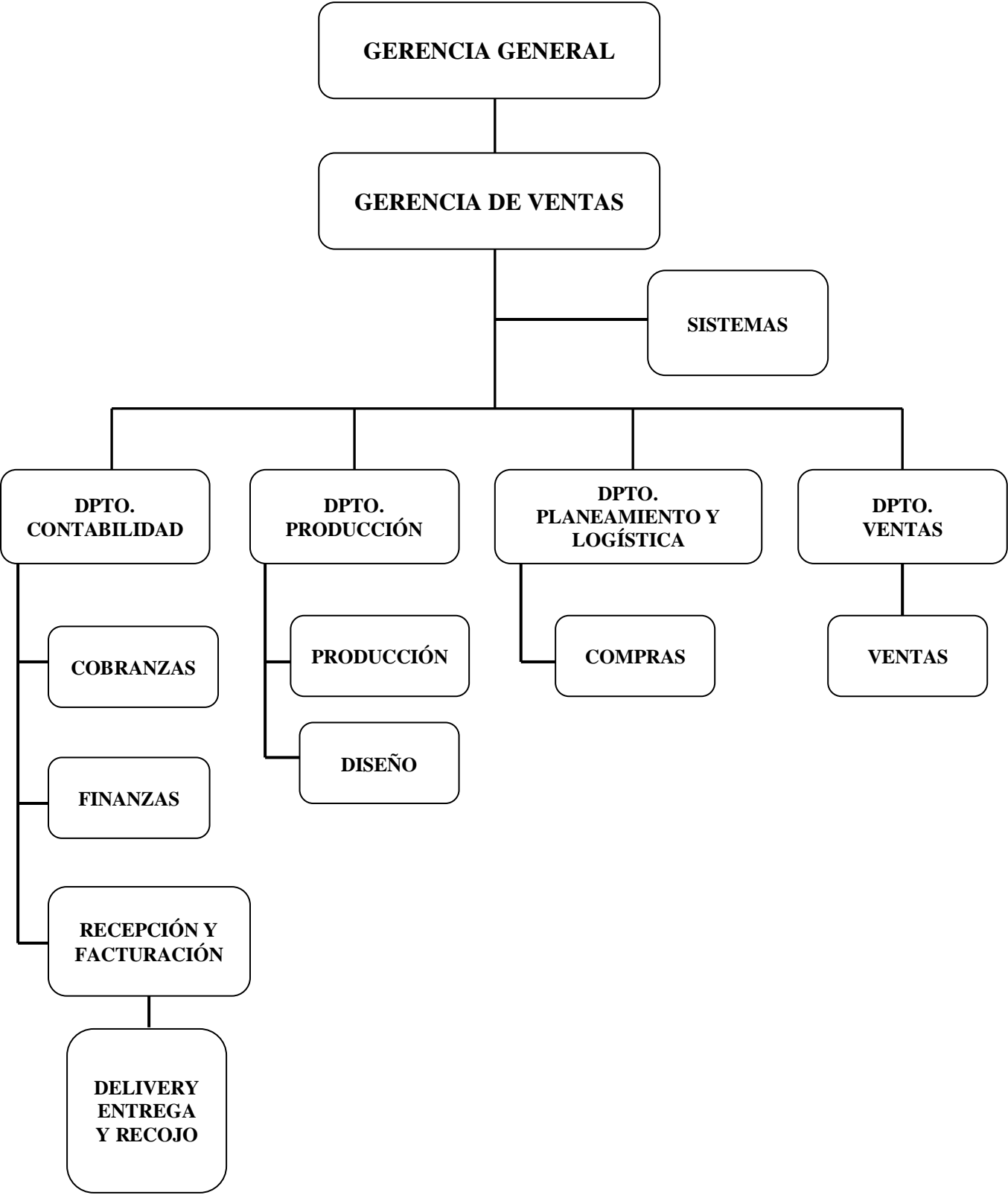
- **Departamento de Planeamiento y Logística**

Esta dirigido por un personal, que tiene como función principal realizar la compra de los insumos además de realizar el control del uso de insumos en la producción.

- **Recepción y *Delivery***

Está constituido por dos personas, que se encargan de la recepción de clientes, generación de ordenes de producción, facturación y entrega de productos dirigiendo a un grupo de motorizados que se encargan tanto de entregar trabajos terminados como de recoger trabajos nuevos.

ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



RECURSOS HUMANOS

En el siguiente cuadro se describe la cantidad de colaboradores con la que cuenta la empresa:

ÁREA	Nº DE COLABORADORES
GERENCIA GENERAL	1
GERENCIA DE VENTAS	1
SISTEMAS	1
CONTABILIDAD	3
VENTAS	4
PRODUCCIÓN	15
PLANEAMIENTO	1
DISEÑO	4
RECEPCIÓN	2
COBRANZAS	2
FINANZAS	2
<i>DELIVERY</i>	6

Grupo Digigraf atiende a sus clientes las 24 horas del día, es por ello que los colaboradores tienen turnos rotativos de 8 horas de lunes a domingo.

Los empleados se identifican plenamente con la empresa, fueron conscientes del mal momento financiero por el cual atravesó la empresa, pero a su vez tenían bien en claro que dependía del desempeño de todos el sacar adelante a la empresa, lo cual conllevaría a mejores ingresos para la institución y por ende para ellos.

Son conscientes de que se debe mejorar en muchos aspectos como:

- Cumplir con que el producto terminado sea acorde a las especificaciones solicitadas por el cliente
- Que los pedidos de los clientes sean entregados dentro de los plazos solicitados
- Que los trabajos finales cuenten con un 0% de error pues en este tipo de producto no se admiten errores.
- Mejorar el trato al cliente, que es la razón de ser de la empresa

1.1.2. ANTECEDENTES

Grupo Digigraf es una empresa consolidada y reconocida a nivel nacional en su rubro, tiene como principales clientes a importantes imprentas, a las cuales ha venido brindando un buen servicio gráfico con rapidez y puntualidad. Haciendo un análisis de la trayectoria de la empresa en sus inicios por el año 1997 Digigraf ingresa al mercado de la Pre Prensa como una solución efectiva para sus clientes tal es así que capta un alto porcentaje del mercado en muy corto tiempo, en ese entonces la política que aplicaba la empresa era netamente la satisfacción al cliente, manteniendo para esto un alto costo de producción el cual era cubierto por el buen precio que el mercado demandaba por sus productos. En consecuencia el departamento de producción de la empresa no estimaba costos para poder satisfacer a sus clientes brindándole un servicio de calidad y rapidez lo cual en el mundo gráfico es vital.

Ya por el año 2003, cuando aparecen los competidores y la empresa empieza a sentir los estragos de la incursión de estas empresas al mercado, debido a que los competidores ofrecían menores precios a

los clientes, Digigraf comienza a perder un poco su participación en el mercado pero por política de la empresa se mantiene las mismas estrategias para con los clientes, ajustando sus precios al nivel de los competidores disminuyendo sus ganancias.

Es así que en los años siguientes consigue los reconocimientos como mejor empresa gráfica; pues brindaba un buen servicio gráfico con una inalcanzable calidad; pero en contraste a esto la empresa internamente no caminaba bien debido a los altos costos que se manejaban en la producción de estos servicios y el mínimo margen de ganancias que esta registraba.

Así hasta el año 2007, la empresa se traza como objetivo recuperar su prestigio de ser la primera empresa en el rubro de Pre Prensa y se enfoca más hacia el control general de la producción, hacia el mejoramiento continuo de sus procesos, optando por una política de minimización de costos de producción lo cual conlleva a un mayor margen de ganancias y este a su vez permitiría innovar en tecnología para seguir creciendo.

Con este objetivo, se realizó el presente estudio, realizándose el análisis e identificándose la causa del problema, se empieza a indagar sobre estudios anteriores, y debido a que en la empresa no se había realizado estudio similar de control de insumos, se debía empezar de cero y poder sentar un precedente para trabajos posteriores.

1.1.3. TRABAJOS PRECEDENTES

Se puede encontrar diversos estudios realizados por profesionales de ingeniería industrial en imprentas, trabajos sobre Modelos de Programación Lineal para cortes de Bobinas de papel, lo que se puede tomar como referencia, ya que estos modelos de cortes de papel se asemejan a los cortes de rollos de película que se tiene como parte del proceso de producción de fotolitos.

En contraste a lo antes mencionado se conoce que no existen trabajos anteriores realizados en la empresa, ya que todo se ha realizado de forma tradicional.

Es así que el presente estudio muestra un campo de desarrollo profesional en el cual como Investigadores Operativos se puede contribuir aportando conocimientos que favorezcan el buen funcionamiento del Sistema de Producción de las Empresas de este Rubro.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema encontrado es el alto nivel de merma o desperdicio que se obtienen en el proceso cortes de película para la producción de fotolitos, por lo cual es necesario identificar un modelo matemático que permita optimizar este proceso.

Dado que no existe en la empresa un procedimiento adecuado para realizar de manera óptima estos cortes, es necesario formular un modelo que permita optimizar estos cortes, para poder obtener un mínimo de desperdicio de rollos de película y poder mantener estándares mínimos de mermas que equivalen al 20% de la producción, y así minimizar los costos de producción obteniendo una mejor utilización de los recursos.

Con ello nos vemos ante un problema de Programación Lineal, donde nuestra Función objetivo es la de minimizar los desperdicios de los cortes, contamos con restricciones de tamaño y cantidad promedio de consumo por mes de cada tipo de rollos; y en el desarrollo del modelo se describirán las variables y demás componentes de este modelo.

1.3 OBJETIVOS

Con este trabajo de investigación se propone los siguientes objetivos:

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo de tesis es Desarrollar un Modelo de Programación Lineal para determinar en el rollo de Película Estándar los cortes adecuados que permitan obtener el menor desperdicio.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para poder alcanzar el objetivo general trazamos algunos objetivos específicos, los cuales ayudaran a conocer mejor el sistema y poder así alcanzar el objetivo general. Estos objetivos son:

- Conocer cuáles son los procesos que involucran toda la producción de Fotolitos.
- Identificar cuál es el flujo normal que sigue la producción de un pedido cualquiera.
- Conocer cuál es el rendimiento de los insumos en la producción, y por ende obtener los niveles de merma.
- Identificar cuál es el procedimiento de cortes de rollos estándares de 3.5m de ancho.
- Obtener los niveles de mermas con los procedimientos actuales de cortes.
- Obtener un modelo de Programación Lineal que se ajuste a las necesidades de cortes actuales
- Buscar una Solución óptima al Modelo Propuesto.
- Estudiar la demanda del producto
- Verificar cuál es la cantidad de desperdicios que se debe considerar en el modelo.

1.4 IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El Análisis Situacional brinda una información válida que permite conocer cuál es la situación actual de la empresa, permite identificar su problemática y las causas que las generan.

Basándose en el diagnóstico del estudio y conocedores de la necesidad de buscar siempre el mejoramiento de los procesos de la empresa es de vital importancia realizar un estudio que permita solucionar los problemas, con el único fin de poder optimizar los procesos y así obtener mayor rentabilidad para la organización. Sustentando los resultados en que la Programación Lineal es una poderosa herramienta que brinda soluciones factibles para este tipo de modelos matemáticos.

El desarrollo del presente proyecto de tesis trae consigo cuantiosos beneficios para la empresa, ya que Grupo Digigraf, podrá contar con un modelo matemático que le permita estandarizar sus procedimientos de cortes de rollos de película, por ende una optimización en el uso de este recurso, reducción en los niveles de mermas y en consecuencia reducción en los costos de producción, con lo que estaría alcanzando uno de sus objetivos trazados.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La principal limitación del estudio es que el modelo está orientado hacia la optimización del uso de insumos bajo las características propias de las maquinarias utilizadas en la empresa, que actualmente utilizan rollos de 76cm y 108cm de ancho, es decir si se renovarían estas maquinarias, se tendría que reajustar el modelo para poder obtener los mismos resultados.

Otra de las limitaciones es que la empresa cuenta con una diversificación de servicios brindados, por lo que se realiza una segmentación del estudio y solo se centró en la producción de fotolitos, quedando pendiente el estudio del Área de Diseño que se encarga de la producción de gigantografías

En la etapa de recolección de datos es donde se encontraron también limitaciones en cuanto a la veracidad de la información registrada en los formatos, esto se fue corrigiendo conforme se hacían las pruebas antes de comenzar a realizar el seguimiento del mes acordado.

Sin embargo se tuvo la mayor dificultad en el acceso a la información, ya que al principio las personas se mostraron reacias al cambio y no contribuían al desarrollo del estudio, pero conforme fueron pasando los meses y ellos mismos podían notar los cambios fueron cada día más accesibles y su aporte fue cada vez mayor.

CAPITULO II

HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 HIPÓTESIS

Mediante la Programación Lineal se construye una estrategia de corte estándar de rollos de película que minimice el desperdicio de los cortes

2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES Y PARÁMETROS

- **Exógeno**
 - Cantidad de Película desechada por instalación
 - Cantidad de película en blanco durante la producción

- **Endógena**
 - Cantidad de película desechada por cortes de rollos
 - Cantidad de película Facturada
 - Cantidad de película Respuesta
 - Cantidad de película Dañada en máquina
 - Cantidad de rollos de 3.5m adquiridos
 - Cantidad de rollos de 0.76m cortados
 - Cantidad de rollos de 1.08m cortados
 - Cantidad de Merma

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

Para poder comprender mejor el tema de estudios debemos primero conocer cuáles son las bases teóricas que sustentan este proyecto. Todo parte de entender el significado de un Sistema. El concepto de sistema arranca del problema de la parte y el todo, ya discutido en la antigüedad por Hesiodo siglo VIII a.c. y Platón siglo IV a.c. Sin embargo; el estudio de los sistemas como tales no preocupa hasta la segunda guerra mundial, cuando se pone de relieve el interés del trabajo interdisciplinario y la existencia de analogías en el funcionamiento de sistemas biológicos y automáticos. Este estudio tomaría carta de naturaleza cuando, en los años 50, L. Von Bertalanffy propone su teoría general de sistemas, donde luego se definen los conceptos: Enfoque de Sistemas y Análisis de sistemas

3.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

AUTO EVALUACIÓN:

Proceso de estudio interno, que realiza la empresa o sus partes, orientado a establecer su situación real.

CONTROL DE CALIDAD

Proceso en el cual se verifica que el producto final esté en perfecto estado y acorde a los requerimientos del cliente.

CORTE

Proceso que consiste en realizar cortes al tamaño adecuado a los insumos.

DIAGNOSTICO:

Es la situación en la que se encuentra la organización en determinado momento.

EFICACIA:

Es la capacidad empresarial para responder apropiada y rápidamente a situaciones dadas en determinado momento y cumplir con sus objetivos.

EFICIENCIA:

Utilización óptima de los recursos, humanos y materiales, para alcanzar el mayor grado de eficacia en el mismo tiempo y al mismo costo.

EFFECTIVIDAD:

Lograr la eficacia y la eficiencia simultáneamente para generar excedentes que permitan el crecimiento de la empresa

ENTORNO:

Todas las circunstancias o condiciones externas que afectan a un organismo o sistema en cualquier momento de su existencia

ESTRATEGIAS:

Son las acciones que deben realizarse para poder mantener y soportar el logro de los objetivos de la empresa.

FOTOLITOS:

Un fotolito es, en la impresión offset y huecograbado, el cliché que reproduce el objeto, o la tipografía, sobre película o soporte transparente.

FUNCIÓN OBJETIVO:

Es la función que deseamos optimizar, es decir, maximizar o minimizar.

HERKULES

Máquina filmadora, que se encarga de procesar la película en Fotolito en formatos de 1.08m.

MERMA

Insumo desperdiciado durante la producción

MÉTODO SIMPLEX:

El método Simplex es un método secuencial de optimización y puede ser empleado tanto para maximizar como para minimizar una respuesta.

MISIÓN:

Formulación explícita de los propósitos de la empresa o de un área funcional así como la identificación de sus tareas y de los actores participantes en el logro de los objetivos de la empresa

MODELO MATEMÁTICO:

Un modelo matemático es la descripción matemática de una situación real.

OBJETIVO:

Son los resultados a largo plazo que una empresa espera lograr para hacer real la misión y visión.

OPTIMIZACIÓN:

La optimización es la búsqueda y el hecho de mejorar el rendimiento de un sistema

ORGANIZACIÓN:

Se refiere al patrón de relaciones que definen los estados posibles para un sistema determinado

PELÍCULAS

Material plantificado en forma de láminas que sirven de herramientas para la impresión final de un producto gráfico.

PLANEACIÓN ESTRATÉGICA:

Es un instrumento Orientado de la empresa, formulado desde una perspectiva temporal mayor al corto plazo, que enuncia la visión, los objetivos estratégicos y las metas estratégicas de un presupuesto empresarial.

PRE PRENSA

Proceso productivo previo a la impresión en la producción Gráfica

PRENSA

Proceso de impresión final en la producción Gráfica

PROCESO:

Puede ser definido como un conjunto de actividades enlazadas entre sí que, partiendo de uno o más entradas, los transforma, generando un resultado.

RESTRICCIONES:

Limitación o reducción impuesta en el suministro de productos de consumo, generalmente por escasez de estos.

RIP

Es un software que se encarga de transformar un archivo de las Pc o Mac a un lenguaje interpretado por la filmadora.

ROLLOS

Presentación del producto en forma de bobinas

SIGNA

Máquina filmadora, que se encarga de procesar la película en Fitolito en formatos de 1.08m.

SISTEMA

Es el conjunto de elementos interrelacionados entre sí.

SITUACIÓN:

Es la apreciación de la realidad desde la perspectiva de un actor sobre el problema. Es una explicación auto referencial a partir de un punto de vista condicionado por su posicionamiento, ideología, experiencia e intencionalidad.

SOLUCIÓN ÓPTIMA

De un conjunto de soluciones es la mejor alternativa de solución para un problema determinado.

VARIABLES ENDÓGENAS:

Aquellas que puede manipular la empresa directamente, como n° de rollos consumidos, servicios externos, etc.

VARIABLES EXÓGENAS:

Aquellas que escapan del control de la empresa, como la cantidad de placas o películas que son devueltas por los clientes, fecha de despacho, etc.

VISIÓN:

Es un conjunto de ideas generales, algunas de ellas abstractas, que proveen el marco de referencia de lo que la empresa es y quiere ser el futuro.

3.2 ENFOQUE DE SISTEMAS

El enfoque sistémico es, sobre todo, una combinación de filosofía y de metodología general, engranada a una función de planeación y diseño, se centra constantemente en sus objetivos totales. Por tal razón es importante definir primeros los objetivos del sistema y examinarlos continuamente y, quizás, redefinirlos a medida que se avanza en el diseño.

3.2.1 Características del Enfoque de Sistemas:

- Interdisciplinario
- Cualitativo y Cuantitativo a la vez
- Organizado
- Creativo
- Teórico
- Empírico
- Pragmático

El enfoque sistémico se distingue de la Teoría General de Sistemas desde la perspectiva de constitución de conocimientos, el enfoque no es una epistemología más, recoge ideas teóricas de la práctica de esta. El enfoque de sistemas va más allá del enfoque Cibernético que en sí se orienta a la búsqueda de la regulación.

El enfoque sistémico caracteriza al desenvolvimiento de ideas de sistemas en sistemas prácticos y se debe considerar como la acción de investigación para concretar el uso de conceptos de sistemas en la conclusión de problemas. La ingeniería de Sistemas, como precepto de idea de transformación, sinónimo de cambio y superación de aspectos tangibles de la realidad considera como un componente fundamental al enfoque de sistemas

3.2.2 El Enfoque de Sistemas conceptualizado

Según GEREZ [3] El enfoque de sistemas es una técnica que combina en forma efectiva la aplicación de conocimientos de otras disciplinas a la solución de problemas que envuelven relaciones complejas entre diversos componentes.

Un aspecto importante del enfoque de sistemas es su aplicación al desarrollo y empleo de nuevas tecnologías tan pronto como consideraciones técnicas y económicas lo permitan. El enfoque de sistemas difiere del diseño convencional en la mayor generalidad de su metodología.

Según THOME [11] Los autores describen el enfoque de sistemas en los términos siguientes:

El enfoque de sistemas es una forma ordenada de evaluar una necesidad humana de índole compleja y consiste en observar la situación desde todos los ángulos (perspectivas). El enfoque de sistemas de dirigirse de la TGS se basa en los conceptos: emergencia, jerarquía, comunicación y control y para su aplicación (enfoque) es necesario preguntarse: ¿Cuántos elementos distinguibles hay en el problema aparente? ¿Qué relación causa efecto existe entre ellos? ¿Qué funciones son precisas cumplir en cada caso? ¿Qué intercambios se requerirán entre los recursos una vez que se definan?

Según VAN [12] El enfoque de sistemas puede llamársele correctamente teoría general de sistema aplicada (TGS aplicada). El enfoque de sistemas puede describirse como: una metodología de diseño, un marco de trabajo conceptual común, una nueva clase de método científico, una teoría de organizaciones, dirección por sistemas, un método relacionado a la ingeniería de sistemas, investigación de operaciones, eficiencia de costos, etc.

3.3 EL ANÁLISIS DE SISTEMAS

El análisis de sistema según STEINER [9] se basa en la metodología interdisciplinaria que integra técnicas y conocimientos de diversos campos fundamentalmente a la hora de planificar y diseñar sistemas complejos y voluminosos que realizan funciones específicas.

Es el proceso de examinar la situación de una empresa con el propósito de mejorarla con métodos y procedimientos adecuados.

Es decir se refiere al proceso de clasificación e interpretación de hechos, diagnóstico de problemas y empleo de la información para recomendar mejoras al sistema. Los sistemas en relación con el análisis de sistemas están relacionados con cualquier campo tales como: procesos industriales, administración, toma de decisiones, procesos, protección al medio ambiente, etc.

Dependiendo de los objetivos del análisis podemos encontrarnos ante dos problemáticas distintas:

- Análisis de un sistema ya existente para comprender, mejorar, ajustar y/o predecir su comportamiento.
- Análisis como paso previo al diseño de un nuevo sistema o producto.

3.3.1 ANÁLISIS SITUACIONAL

Análisis situacional se refiere al análisis de datos pasados, presentes, futuros ya que éstos proporcionan una base para seguir el proceso de la planeación estratégica. (STEINER [9]).

Para que una Organización pueda funcionar adecuadamente es necesario que tenga muy en cuenta lo que ocurrió, lo que ocurre y lo que aún puede ocurrir dentro de la organización y estar al tanto para evitar hechos que nos lleven al fracaso.

- **Expectativas de elementos externos.-** se refiere a todos aquellos individuos o grupos que tienen un interés en común relacionado con la empresa, el cual servirá para que la planeación estratégica se lleve a cabo adecuadamente.
- **Expectativas de personal interno.-** Los intereses de las personas son observadas por el dueño o director de la empresa, conforme la empresa crece el director valora más al personal. En ocasiones los empleados no están conformes con las actividades que realizan en la organización por lo que es importante saber que ocurre dentro de la organización para aplicar estrategias de mejora.
- **Desempeño pasado.-** Esto es importante considerarlo dentro de la organización ya que a través de datos pasados se pueden determinar posibles situaciones futuras. De estos datos pueden aprender todas aquellas personas que ingresen a la empresa o aquellas que no conozcan mucho sobre la misma.
- **Situación actual.-** En este aspecto se deben considerar todos los recursos con los que cuenta la empresa (instalaciones, financieros, productos nuevos, etc.), así como todo lo referente a la competencia, para poder mantenerse en ventaja con respecto a ésta. Otro punto a considerar es el ambiente dentro del cual se desarrolla la organización.

- **Pronóstico.-** Los pronósticos realizados para facilitar la planeación estratégica eran económicos y por lo general se enfocaban a factores ambientales que tuvieran relación directa con la empresa como: ingreso disponible del consumidor, índices de salarios, productividad de empleados, condiciones económicas generales, etc. (STEINER [9]).
- **Identificación de oportunidades, debilidades, fortalezas y amenazas:** para que la organización funcione adecuadamente es necesario que tenga muy en cuenta los cuatro puntos anteriores y deben tratar de evitar desviaciones que traigan consigo el fracaso de la organización.

El análisis situacional tiene diversos propósitos: (STEINER [9])

- Ayuda a los directivos a identificar y analizar las fuerzas más significativas en el medio ambiente.
- Ayuda a sistematizar el proceso de valuación del medio ambiente para tener mejores resultados.
- Proporcionan un foro para tratar los puntos de vista divergentes acerca del mismo.
- Estimula el pensamiento creativo y proporciona una base para continuar con el proceso de planeación.

FODA

La empresa debe considerar los factores económicos, políticos, sociales, tecnológicos, legales, etc. Que puedan afectar el negocio y considerar al mismo tiempo clientes, competidores, canales de

distribución, que afecten la capacidad para obtener utilidades en el mercado por lo que es importante identificar debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que se presenten tanto en la parte externa como la parte interna de la empresa.

Externo:

Oportunidades:

Área de necesidades en la que una compañía puede alcanzar un desempeño rentable (KOTLER [6])

Una empresa puede alcanzar su éxito dependiendo de la aptitud que tenga hacia los negocios, no sólo se debe orientar hacia el éxito de operar en un mercado objetivo, siempre hay que ver hacia delante identificar a la competencia para tratar de superarla, ofreciendo un mejor servicio a los clientes, para así satisfacerlos y mantenerlos más tiempo con nosotros.

Amenazas:

Reto planteado por una tendencia o desarrollo desfavorable en el entorno que conducirá en la ausencia de una acción de mercadotecnia al deterioro de ventas de las utilidades (KOTLER [6])

Es importante tener en cuenta posibles amenazas, para elaborar un plan de contingencia por anticipado y así saber que modificaciones hacer al respecto.

Interno:

Debilidades:

La empresa debe tomar en cuenta cuáles son sus puntos débiles para considerarlos y tomar medidas correctivas al respecto. Todo ello

considerando atributos del producto, beneficios que ofrece, precio, calidad en comparación con la competencia.

Fortalezas:

Aspectos en los cuales la empresa se encuentra bien posicionada, pero no los debe dejar olvidados ya que se tiene que seguir trabajando en ellos para que no lleguen a convertirse en debilidades.

3.4 PROGRAMACIÓN LINEAL

La Programación Lineal según LOOMBA [7], es un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema, formulado a través de ecuaciones lineales, optimizando la función objetivo, también lineal.

Consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, que se denomina función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que expresamos mediante un sistema de inecuaciones lineales de la forma:

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i <, >, = b \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Se considera el desarrollo de la Programación Lineal (PL) entre los avances científicos más importantes de mediados del siglo XX. En la actualidad es una herramienta común que ha ahorrado miles o millones de dólares a muchas compañías y negocios, incluyendo industrias medianas en distintos países del mundo.

El tipo más común de aplicación abarca el problema general de asignar recursos limitados entre actividades competitivas de la mejor manera posible (es decir, en forma óptima).

Este problema de asignación puede surgir cuando deba elegirse el nivel de ciertas actividades que compiten por recursos escasos para realizarlas.

La variedad de situaciones a las que se puede aplicar esta descripción es sin duda muy grande, y va desde la asignación de instalaciones productivas a los productos, hasta la asignación de los recursos nacionales a las necesidades de un país; desde la planeación agrícola, hasta el diseño de una terapia de radiación; etc. No obstante,

el ingrediente común de todas estas situaciones es la necesidad de asignar recursos a las actividades.

La PL es una técnica determinista, no incluye probabilidades y utiliza un modelo matemático para describir el problema. El adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales.

Así, la PL trata la planeación de las actividades para obtener un resultado óptimo, esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada (según el modelo) entre todas las opciones de solución. Aunque la asignación de recursos a las actividades es la aplicación más frecuente, la PL tiene muchas otras posibilidades.

De hecho, cualquier problema cuyo modelo matemático se ajuste al formato general del modelo de PL es un problema de PL. (según referencia [13])

3.4.1 Variables

Las variables son reales mayores o iguales a cero. $X_i \geq 0$. En caso que se requiera que el valor resultante de las variables sea un entero, el procedimiento se denomina Programación entera.

3.4.2 Restricciones

Las restricciones pueden ser de la forma:

Tipo 1:

$$A = \sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot X_j$$

Tipo 2:

$$B \leq \sum_{i=1}^N b_{ij} \cdot X_j$$

Tipo 3:

$$C \geq \sum_{i=1}^N c_{ij} \cdot X_j$$

Donde:

A = valor conocido a ser respetado estrictamente;

B = valor conocido que debe ser respetado o puede ser superado;

C = valor conocido que no debe ser superado;

a; b; y, c = coeficientes técnicos conocidos;

X = Incógnita

i = número de la restricciones, variable de 1 a N.

j = número de incógnitas, variable de 1 a M

En general no hay restricciones en cuanto a los valores de N y M. Puede ser $N = M$; $N > M$; ó, $N < M$. Los tres tipos de restricciones pueden darse simultáneamente en el mismo problema.

3.4.3 Función Objetivo

La función objetivo puede ser:

$$Max z = \sum_{i=1}^M f_i \cdot X_i$$

Ó

$$Min z = \sum_{i=1}^M f_i \cdot X_i$$

Donde:

f_i = coeficientes son relativamente mayores o iguales a cero

M = numero de incógnitas.

Finalmente el Modelo de Programación Lineal queda como se muestra en el ejemplo de maximización:

$$Max z = \sum_{i=1}^M f_i \cdot X_i$$

s.a

$$C \geq \sum_{i=1}^N b_{ij} \cdot X_j$$

$j = 1, 2, 3, \dots, M$

3.4.4 Programación Entera

En algunos casos se requiere que la solución óptima se componga de valores enteros para algunas de las variables. La resolución de este problema se obtiene analizando las posibles alternativas de valores enteros de esas variables en un entorno alrededor de la solución obtenida considerando las variables reales.

Muchas veces la solución del programa lineal truncado está lejos de ser el óptimo entero, por lo que es necesario usar algún algoritmo para hallar esta solución de forma exacta. El más famoso es el método de 'Ramificar y Acotar' o *Branch and Bound* por su nombre en inglés. El método de Ramificar y Acotar parte de la adición de nuevas restricciones para cada variable de decisión (acotar) que al ser evaluado independientemente (ramificar) lleva al óptimo entero.

3.4.5 Aplicaciones

La programación lineal constituye un importante campo de la optimización por varias razones, muchos problemas prácticos de la investigación de operaciones pueden plantearse como problemas de programación lineal. Algunos casos especiales de programación lineal, tales como los problemas de flujo de redes y problemas de flujo de mercancías se consideraron en el desarrollo de las matemáticas lo suficientemente importantes como para generar por si mismos mucha investigación sobre algoritmos especializados en su solución. Una serie de algoritmos diseñados para resolver otros tipos de problemas de optimización constituyen casos particulares de la más amplia técnica de la programación lineal. Históricamente, las ideas de programación lineal han inspirado muchos de los conceptos centrales de la teoría de optimización tales como la dualidad, la descomposición y la importancia

de la convexidad y sus generalizaciones. Del mismo modo, la programación lineal es muy usada en la microeconomía (FERNÁNDEZ [2]) y la administración de empresas, ya sea para aumentar al máximo los ingresos o reducir al mínimo los costos de un sistema de producción. Algunos ejemplos son la mezcla de alimentos, la gestión de inventarios, la cartera y la gestión de las finanzas, la asignación de recursos humanos y recursos de máquinas, la planificación de campañas de publicidad, además según el autor (FERNÁNDEZ [2]) también se puede aplicar en:

- Optimización de la combinación de diámetros comerciales en una red ramificada de distribución de agua.
- Aprovechamiento óptimo de los recursos de una cuenca hidrográfica, para un año con afluencias caracterizadas por corresponder a una determinada frecuencia.
- Soporte para toma de decisiones en tiempo real, para operaciones de un sistema de obras hidráulicas.
- Solución de problemas de transporte.

3.4.6 Problema de Corte de Materiales

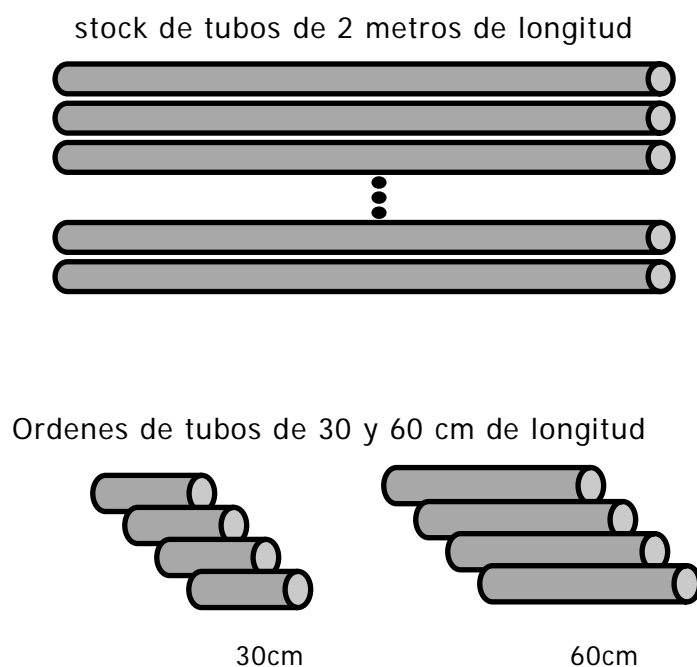
Muchos de los productos primarios que emplean diversas industrias para fabricar sus productos ya sea papel, textil, plásticos aluminio, etc. Se obtienen del proveedor en la forma de rollos, bobinas o grandes planchas, las dimensiones de estas formas varían de un proveedor a otro. Si un fabricante de bobina, por ejemplo, suministra estas en una anchura determinada y el comprador necesita cortarlas para adaptarlas a sus necesidades (imaginemos por ejemplo el impresor de revistas o periódicos de distintos formatos), el problema que se le plantea es como hacer esos cortes de tal forma que se desperdicie la menor cantidad posible de material.

Un ejemplo de la estructura de un problema de corte en una dimensión se ilustra en DYCKHOFF [1], el cual considera:

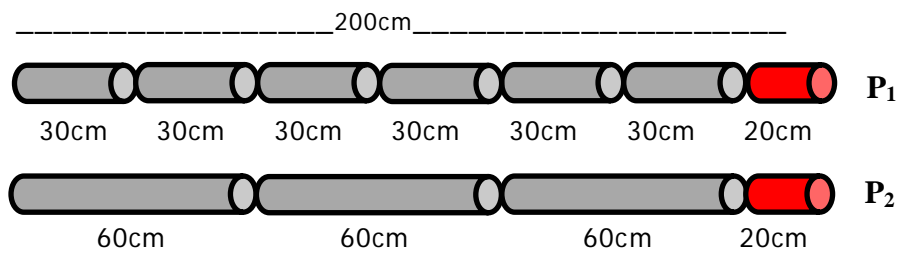
Un stock ilimitado de tubos tiene una anchura de 2 metros, se tiene una orden de pedido de tubos pequeños de 60cm y 30cm de anchura que deben ser producidos.

Las órdenes de producción de tubos pequeños incluyen una combinación de estos, los cuales deberán de obtenerse del tubo más ancho del proveedor, cortándolas según un determinado patrón de corte. El proceso de construir un patrón de corte obedece a ciertos objetivos y restricciones específicos del problema. En este caso el objetivo es minimizar la pérdida residual total.

Por ejemplo, un tubo de 2 metros se puede cortar en 3 de 60 centímetros de ancho quedando un residuo de 20cm, y del mismo modo así se deben de identificar todos los posibles patrones de cortes.



Posibles patrones de cortes:



Sea P_i el número de tubos cortados bajo el patrón de corte i , y sea R_i sus respectivos residuos, donde $i = 1, 2, 3, \dots, m$. Se tiene que el objetivo de este modelo es el de minimizar los residuos obtenidos, por ello la Función Objetivo es:

$$\text{Min. } \sum_{i=1}^m R_i \cdot P_i$$

Esto sujeto a las restricciones de cantidad de tubos pequeños de cada tipo que se requieran

Es decir es un problema lineal, con la única variedad que en vez de minimizar costos minimizaremos los desperdicios por cada patrón de corte.

3.4.7 Métodos de Solución para problema de Programación Lineal

La Programación Lineal es una técnica mediante la cual se toman decisiones, reduciendo el problema bajo estudio a un modelo matemático general, el cual debe ser resuelto por métodos cuantitativos. Y estos métodos pueden ser el método gráfico, método simplex.

- **MÉTODO GRÁFICO**

El método gráfico se utiliza para la solución de problemas de PL, representando geométricamente a las restricciones y el objetivo. El modelo se puede resolver en forma gráfica si tiene dos o tres variables. Para modelos con más variables, el método gráfico es impráctico o imposible.

- **MÉTODO SIMPLEX**

El método simplex se utiliza, sobre todo, para resolver problemas de programación lineal en los que intervienen tres o más variables. El álgebra matricial y el proceso de eliminación de Gauss-Jordan para resolver un sistema de ecuaciones lineales constituyen la base del método simplex.

Mientras que los Programas Lineales que solo tienen restricciones de \leq se pueden resolver sólo usando variables de holgura con el método simplex, para aquellos programas lineales que involucren restricciones de tipo \geq e $=$ es necesario usar variables artificiales, las variables de holgura tienen un significado físico real que corresponde a las disponibilidades o requerimientos no usados en las restricciones, pero las variables artificiales no tienen ninguna representación física y sólo son usadas como un comodín matemático para ayudar en la solución del problema.

Pues bien, cuando se tiene que usar variables artificiales al tener restricciones de \geq e $=$ se debe usar una de las siguientes variantes del método simplex:

- MÉTODO DE LA M GRANDE
- MÉTODO DE DOS FASES

Por la naturaleza del problema de programación lineal que se plantea en el presente trabajo de tesis se utilizara el método simplex y como variante el método de dos fases.

3.4.8 Presentación del Método Simplex

Publicado por George Dantzig en 1947 es un algoritmo iterativo que secuencialmente a través de iteraciones se va aproximando al óptimo del problema de Programación Lineal, comienza con una solución factible y prueba si es o no óptima. Si no lo es, el método sigue a una mejor solución, hasta que encuentre una solución óptima, si es que existe. Si el Problema de Programación Lineal tiene solución, esta se encuentra en la región factible que es un conjunto convexo.

El método del simplex se basa en la siguiente propiedad: si la función objetivo, f , no toma su valor máximo en el vértice A de la región factible, entonces hay una arista que parte de A , a lo largo de la cual f aumenta; es decir, partiendo del valor de la función objetivo en un vértice cualquiera, el método consiste en buscar sucesivamente otro vértice que mejore al anterior. La búsqueda se hace siempre a través de los lados del polígono (o de las aristas del poliedro, si el número de variables es mayor) que conforman la región factible. Como el número de vértices (y de aristas) es finito, siempre se podrá encontrar la solución.

Además de ser eficiente, dicho método tiene otras ventajas. Es completamente mecánico (se utilizan matrices, operaciones elementales sobre renglones y aritmética básica). Asimismo, no implica el uso de geometría. Esto permite resolver problemas de programación lineal que tiene cualquier número de restricciones y variables.

Cabe destacar que para aplicar el Método Simplex a un modelo lineal, este debe estar en un formato especial conocido como formato estándar.

FORMA ESTÁNDAR DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL

$$\text{Min } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

sa

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ y } m \leq n$$

y en su forma matricial

$$\text{Min } Z = c^T x$$

s.a

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

Considerando que:

- Siempre es posible llevar un problema de maximización a uno de minimización. Si $f(x)$ es la función objetivo a maximizar y x^* es la solución óptima $f(x^*) \geq f(x)$, para todo x factible. $-f(x^*) \leq -f(x)$, para todo x factible. En consecuencia: x^* es también mínimo de $-f(x)$
- Cada restricción del tipo \leq puede ser llevada a una ecuación de igualdad usando una (nueva) variable de holgura no negativa, con coeficiente nulo en la función objetivo.
- Cada restricción del tipo \geq puede ser llevada a una ecuación de igualdad usando una (nueva) variable de exceso no negativa, con coeficiente nulo en la función objetivo.
- Siempre es posible escribir una variable libre de signo como la diferencia de dos variables no negativas.

CONSTRUCCIÓN DE LA TABLA SIMPLEX

En la primera columna de la tabla aparecerá lo que llamaremos base, a partir de la segunda columna aparecerán cada una de las variables de la función objetivo (P_i) y en la última el término independiente de cada restricción (P_0). Para tener una visión más clara de la tabla, incluiremos una fila en la que pondremos cada uno de los nombres de las columnas. Sobre ésta tabla que tenemos incluiremos dos nuevas filas: una que será la que liderará la tabla donde aparecerán las constantes de los coeficientes de la función objetivo, y otra que será la última fila, donde tomará valor la función objetivo. Nuestra tabla final tendrá tantas filas como restricciones.

Tabla						
Base						
	P_1	P_2	...	P_{n-1}	P_n	P_0
P_{i1}	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n-1}	a_{1n}	b_{i1}
P_{i2}	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n-1}	a_{2n}	b_{i2}
...
P_{im}	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn-1}	a_{mn}	b_{im}
Z	Z_1-C_1	Z_2-C_2	...	$Z_{n-1}-C_{n-1}$	Z_n-C_n	Z_0

Los valores de la fila Z se obtienen de remplazar los valores C_{im} de la función objetivo y cero si no aparece en la base. El resto de columnas se obtiene remplazando los coeficientes de las restricciones según se muestra en la tabla.

Se observará al realizar el método Simplex, que en esta primera tabla, en la base estarán las variables de holgura.

- **Condición de parada:** Cuando en la fila Z no existe ningún valor negativo (para problemas de Maximización) o ningún valor positivo (para problemas de Minimización), se ha alcanzado la solución óptima del problema. En tal caso, se ha llegado al final del algoritmo. De no ser así, se continúa con las iteraciones.
- **Elección de la variable que entra:** Si no se ha dado la condición de parada, debemos seleccionar una variable para que entre en la base en la siguiente tabla. Para ello nos fijamos en los valores estrictamente negativos de la fila Z, y el menor de ellos será el que nos de la variable entrante (para problemas de Maximización) y nos fijaremos en los valores estrictamente positivos de la fila Z, y el mayor de ellos será el que nos de la variable entrante (para problemas de Minimización).
- **Elección de la variable que sale:** Una vez obtenida la variable entrante, obtendremos la variable que sale, sin más que seleccionar aquella fila cuyo cociente P_0/P_j sea el menor de los estrictamente positivos (teniendo en cuenta que sólo se hará cuando P_j sea mayor de 0). La intersección entre la columna entrante y la fila saliente nos determinará el elemento pivote.
- **Actualización de la tabla:** Las filas correspondientes a la función objetivo y a los títulos permanecerán inalterados en la nueva tabla. El resto deberá calcularse de dos formas diferentes:

La fila en la cual se encuentra el elemento *pivote*, se le denomina fila *pivote*, y la columna, columna *pivote*

1. Si es la fila *pivote* cada nuevo elemento se calculará:

$$\text{Nuevo Elemento Fila } \textbf{Pivote} = \text{Elemento Fila } \textbf{Pivote} \text{ actual} / \textbf{Pivote}.$$

2. Para el resto de elementos de filas se calculará:

Nuevo Elemento Fila = Elemento Fila Pivote actual - (Elemento Columna Pivote en la fila actual * Nuevo Elemento Fila). Esto se realiza con el fin de llegar a construir la matriz unitaria o base.

Para conocer la metodología que se aplica en el Método SIMPLEX, se va a resolver el siguiente problema:

Maximizar $Z = f(x,y) = 3x + 2y$

sujeto a

$$2x + y \leq 18$$

$$2x + 3y \leq 42$$

$$3x + y \leq 24$$

$$x \geq 0, y \geq 0$$

Se consideran los siguientes pasos:

1. Convertir las desigualdades en igualdades

Se introduce una variable de holgura o exceso por cada una de las restricciones, para convertirlas en igualdades, resultando el sistema de ecuaciones lineales:

$$2x + y + h = 18$$

$$2x + 3y + s = 42$$

$$3x + y + d = 24$$

2. Igualar la función objetivo a cero

$$Z = 3x + 2y$$

$$0 = 3x + 2y - Z$$

$$0 = -3x - 2y + Z$$

3. Escribir la tabla inicial simplex

En las columnas aparecerán todas las variables del problema y, en las filas, los coeficientes de las igualdades obtenidas, una fila para cada restricción y la última fila con los coeficientes de la función objetivo:

Tabla I. Iteración nº 1

Base	Variable de decisión		Variable de holgura			Valores solución
	x	y	h	s	d	
h	2	1	1	0	0	18
s	2	3	0	1	0	42
d	3	1	0	0	1	24
Z	-3	-2	0	0	0	0

4. Encontrar la variable de decisión que entra en la base y la variable de holgura que sale de la base

- Para escoger la variable de decisión que entra en la base, utilizamos el criterio de optimalidad para lo cual nos fijamos en la última fila, la de los coeficientes de la función objetivo y escogemos la variable con el coeficiente negativo mayor

En nuestro caso, la variable x de coeficiente **-3**.

Si existiesen dos o más coeficientes iguales que cumplan la condición anterior, entonces se elige uno cualquiera de ellos.

Si en la última fila no existiese ningún coeficiente negativo, significa que se ha alcanzado la solución óptima. Por tanto, lo que va a determinar el final del proceso de aplicación del

método del simplex, **es que en la última fila no haya elementos negativos.**

La columna de la variable que entra en la base se llama columna *pivote*.

- Para encontrar la variable de holgura que tiene que salir de la base, se divide cada término de la última columna (valores solución) por el término correspondiente de la columna *pivote*, siempre que estos últimos sean mayores que cero. En nuestro caso:

$$18/2 [=9], 42/2 [=21] \text{ y } 24/3 [=8]$$

Si hubiese algún elemento menor o igual que cero no se realiza dicha operación. En el caso de que todos los elementos fuesen menores o iguales a cero, entonces tendríamos una solución no acotada y no se puede seguir ya que se hace imposible la aplicación del criterio de factibilidad para las variables salientes de la base.

El término de la columna *pivote* que en la división anterior dé lugar al menor cociente positivo, el **3**, ya que **8** es el menor cociente, indica la fila de la variable de holgura que sale de la base, **d**. Esta fila se llama fila pivote.

Si al calcular los cocientes, dos o más son iguales, según PRAWDA [8] se debe aplicar las llamadas reglas lexicográficas para romper el empate. Una decisión arbitraria puede causar que el proceso cicle continuamente sin alcanzar la solución óptima.

- En la intersección de la fila pivote y columna pivote tenemos el elemento pivote operacional, **3**.

5. Encontrar los coeficientes de la nueva tabla.

Los nuevos coeficientes de x se obtienen dividiendo todos los coeficientes de la fila **d** por el pivote operacional 3, que es el que hay que convertir en 1.

A continuación mediante la reducción gaussiana se hace ceros los restantes términos de su columna, con el fin de poder construir la matriz base, con lo que se obtiene los nuevos coeficientes de las otras filas incluyendo los de la función objetivo Z .

Tabla II. Iteración nº 2

Base	Variable de decisión		Variable de holgura			Valores solución
	x	y	h	S	d	
h	0	1/3	1	0	-2/3	2
s	0	7/3	0	1	-2/3	26
x	1	1/3	0	0	1/3	8
Z	0	-1	0	0	1	24

Como en los elementos de la última fila hay uno negativo, -1, significa que no hemos llegado todavía a la solución óptima. Hay que repetir el proceso:

- La variable que entra en la base es y , por ser la variable que corresponde al coeficiente -1

- Para calcular la variable que sale, dividimos los términos de la última columna entre los términos correspondientes de la nueva columna pivote:

$$2/(1/3) = 6, 26/(7/3) = (78/7) \text{ y } 8/(1/3) = 8$$

y como el menor cociente positivo es 6, tenemos que la variable de holgura que sale es h.

- El elemento pivote, que ahora hay que hacer 1, es $1/3$.

Operando de forma análoga a la anterior obtenemos la tabla:

Tabla III. Iteración nº 3

Base	Variable de decisión		Variable de holgura			Valores solución
	x	y	h	s	d	
y	0	1	3	0	-2	6
s	0	0	-7	0	4	12
x	1	0	-1	0	1	6
Z	0	0	3	0	-1	30

Como en los elementos de la última fila hay uno negativo, -1, significa que no hemos llegado todavía a la solución óptima. Hay que repetir el proceso:

- La variable que entra en la base es **d**, por ser la variable que corresponde al coeficiente -1

- Para calcular la variable que sale, dividimos los términos de la última columna entre los términos correspondientes de la nueva columna pivote:

-

$$6/(-2) = -3, 12/4 = 3, \text{ y } 6/1 = 6$$

y como el menor cociente positivo es 3, tenemos que la variable de holgura que sale es **S**.

- El elemento pivote, que ahora hay que hacer 1, es 4.

Obtenemos la tabla:

Tabla IV. Final del proceso

Base	Variable de decisión		Variable de holgura			Valores solución
	x	y	h	s	d	
y	0	1	-1/2	0	0	12
d	0	0	-7/4	0	1	3
x	1	0	-3/4	0	0	3
Z	0	0	5/4	0	0	33

Como todos los coeficientes de la fila de la función objetivo son positivos, hemos llegado a la solución óptima.

La solución óptima viene dada por el valor de Z en la columna de los valores solución, en este caso: 33. En la misma columna se puede observar el vértice donde se alcanza, observando las filas correspondientes a las variables de decisión que han entrado en la base $x=3$; $y=12$ donde la solución óptima al PL se da en el vértice **D(3,12)**, con un valor óptimo $z=33$.

3.4.9 Método de Dos Fases

El Método de las Dos Fases según TAHA [10], es una variante del Algoritmo Simplex, que se aplica cuando luego de llevar un modelo de programación lineal a su forma estándar no se dispone de una solución básica factible inicial.

Según MACHUCA [5] y GREEN [4] Este método difiere del Simplex en que primero hay que resolver un problema auxiliar que trata de **minimizar la suma de las variables auxiliares o artificiales**.

Una vez resuelto este primer problema y reorganizada la tabla final, se pasa a la segunda fase, que consiste en realizar el método Simplex normal, el cual según PRAWDA [8] se calcula como sigue:

FASE UNO:

En esta primera fase, se realiza todo de igual manera que en el método Simplex normal, excepto la construcción de la primera tabla, la condición de parada y la preparación de la tabla que pasará a la fase 2.

Se considera un problema auxiliar que resulta de agregar tantas variables auxiliares a las restricciones del problema, de modo de obtener una solución básica factible. Luego se resuelve, utilizando el método Simplex, un nuevo problema que considera como función objetivo minimizar la suma de las variables auxiliares sujeta a las restricciones del problema original. Si el problema tiene un espacio factible el valor de la función objetivo es cero, lo cual indica que todas las variables artificiales son cero. En ese momento se pasa a la Fase Dos; caso contrario el problema no tiene solución óptima.

FASE DOS:

Consiste en resolver a través del Método Simplex el problema original a partir de la solución básica factible inicial hallada en la Fase Uno, es decir, tomando como base los resultados óptimos obtenidos en la última tabla de la Fase Uno, se eliminan las columnas de las variables artificiales, se reemplaza la función objetivo original del problema, en lugar de la provisional que se había colocado para iniciar la Fase Uno. Luego se procede a resolver a partir de ahí, con el método Simplex tradicional.

Construcción de la primera tabla:

Siguiendo las pautas de [14], se hace de la misma forma que la tabla inicial del método Simplex, la diferencia es que la fila de la función objetivo cambia para la primera fase, ya que cambia la función objetivo y los coeficientes de esta si en el método simplex normal se consideraba a los $Z_i - C_i$, ahora se consideran a los Z_i , además que en la segunda columna de la tabla aparecerán los coeficientes del valor de la función objetivo en las restricciones a lo se llamara C_b , y se incluirán las columnas para las variables artificiales.

Tabla

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	C_b	P_1	P_2	...	P_{n-k}	...	P_n	P_0
P_{i1}	C_{i1}	a_{i1}	a_{i2}	...	$a_{i(n-k)}$...	a_{in}	b_{i1}
P_{i2}	C_{i2}	a_{21}	a_{22}	...	$a_{2(n-k)}$...	a_{2n}	b_{i2}
...
P_{im}	C_{im}	a_{m1}	a_{m2}	...	$a_{m(n-k)}$...	a_{mn}	b_{im}
Z		Z_1	Z_2	...	Z_{n-k}	...	Z_n	Z_0

Condición de parada:

La condición de parada es la misma que en el método Simplex normal. La diferencia está en que pueden ocurrir dos casos cuando se produce la parada: **la función toma un valor 0**, que significa que el problema original **tiene solución**, o que tome un **valor distinto**, indicando que el modelo **no tiene solución**.

Eliminar Columna de variables artificiales:

Si se ha llegado a la conclusión de que el problema original tiene solución, se debe preparar la tabla para la segunda fase. Debiendo eliminar las columnas de las variables artificiales, modificar la fila de la función objetivo por la original, y calcular la fila Z de la misma forma que en la primera tabla de la **fase 1**.

Con el fin de conocer mejor el Método de dos Fases, se va a resolver el siguiente problema.

$$\text{Minimizar } Z = f(x,y) = 4X_1 + 2X_2 + 3X_3 + 5X_4$$

sujeto a

$$2X_1 + 3X_2 + 4X_3 + 2X_4 = 300$$

$$8X_1 + X_2 + X_3 + 5X_4 = 300$$

$$X_1 \geq 0$$

$$X_2 \geq 0$$

$$X_3 \geq 0$$

$$X_4 \geq 0$$

Al igual que con el Método Simplex se consideran los siguientes pasos:

1. Convertir las desigualdades en igualdades

En este caso el problema ya se encuentra en su forma estándar, por ello solo se introduce una variable artificial por cada una de las restricciones, resultando el sistema de ecuaciones lineales:

$$2X_1 + 3X_2 + 4X_3 + 2X_4 + Y_1 = 300$$

$$8X_1 + X_2 + X_3 + 5X_4 + Y_2 = 300$$

2. Construir la nueva función objetivo

La nueva función objetivo es la de minimizar las sumas de las variables de holgura o artificiales que se tengan, es así que se tiene

$$\text{Min } W = Y_1 + Y_2$$

Ahora para resolver el modelo por el método simplex como un problema de maximización debemos de recordar que:

$$\text{Min } W = \text{Max } (-W), \text{ entonces tenemos:}$$

El nuevo modelo queda como se muestra:

$$\text{Max } -W = -Y_1 - Y_2$$

s.a

$$2X_1 + 3X_2 + 4X_3 + 2X_4 + Y_1 + 0Y_2 = 300$$

$$8X_1 + X_2 + X_3 + 5X_4 + 0Y_1 + Y_2 = 300$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, Y_1, Y_2 \geq 0$$

FASE I

Se resuelve el modelo en la tabla simplex como se muestra:

Tabla I.

Base		Variable de decisión						Valores solución
	W	X₁	X₂	X₃	X₄	Y₁	Y₂	
Y₁	0	2	3	4	2	1	0	300
Y₂	0	8	1	1	5	0	1	300
W	-1	0	0	0	0	1	1	0

Como se observa los costos reducidos de las variables básicas Y_1 , Y_2 no son nulos por ello se deben de reducir a 0, ya que se debe de respetar que los costos reducidos de las variables básicas sean 0. Entonces para reducir estos coeficientes se hace (fila $Y_1 * -1$ y se suma a fila W), luego (fila $Y_2 * -1$ y se suma a la fila W) obteniéndose las siguientes tablas.

Tabla II.

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X₁	X₂	X₃	X₄	Y₁	Y₂	
Y₁	0	2	3	4	2	1	0	300
Y₂	0	8	1	1	5	0	1	300
W	-1	-2	-3	-4	-2	0	1	-300

Tabla III.

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X₁	X₂	X₃	X₄	Y₁	Y₂	
Y₁	0	2	3	4	2	1	0	300
Y₂	0	8	1	1	5	0	1	300
W	-1	-10	-4	-5	-7	0	0	-600

Ahora se observa que los coeficientes de las variables básicas artificiales son 0, por lo que la tabla simplex es correcta; por ello se procede a resolver mediante el método simplex normal, obteniéndose las tablas siguientes:

Tabla IV Primera Iteración.

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X₁	X₂	X₃	X₄	Y₁	Y₂	
Y₁	0	2	3	4	2	1	0	300
Y₂	0	8	1	1	5	0	1	300
W	-1	-10	-4	-5	-7	0	0	-600

- La variable que entra en la base es X_1 , por ser la variable que corresponde al coeficiente -10 (menor negativo)
- Para calcular la variable que sale, dividimos los términos de la última columna entre los términos correspondientes de la nueva columna pivote:

$$300/2 = 150, 300/8 = 75/2$$

y como el menor cociente positivo es $75/2$, tenemos que la variable que sale es Y_2 .

- El elemento pivote, que ahora hay que hacer 1, es 8.

Una vez reducido el pivot a 1 mediante la reducción gaussiana se hacen 0 los coeficientes restantes de la columna, se tiene:

Tabla V.

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₂	
Y ₁	0	0	11/4	15/4	3/4	1	-1/4	225
X ₁	0	1	1/8	1/8	5/8	0	1/8	75/2
W	-1	0	-11/4	-15/4	-3/2	0	5/4	-225

- La variable que entra en la base es X₃, por ser la variable que corresponde al coeficiente -15/4 (menor negativo)
- Para calcular la variable que sale, dividimos los términos de la última columna entre los términos correspondientes de la nueva columna pivote:

$$225/(15/4) = 60, (75/2)/(1/8) = 300$$

y como el menor cociente positivo es 60, tenemos que la variable que sale es Y₁.

- El elemento pivote, que ahora hay que hacer 1, es 15/4.

Operando análogamente como en el caso anterior se tiene:

Tabla VI.

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₂	
X ₃	0	0	11/15	1	1/5	4/15	-1/15	60
X ₁	0	1	1/30	0	3/5	-1/30	2/15	30
W	-1	0	0	0	0	1	1	0

Como se observa los coeficientes de las variables de decisión son todos mayores o iguales a cero, y el valor de las variables artificiales son ceros en consecuencia la función tiene valor 0, por lo que se da por concluido con la **FASE I** y se tiene una solución básica factible X₁=30, X₂=0, X₃=60, X₄=0

FASE II

$$\text{Min } Z = 4X_1 + 2X_2 + 3X_3 + 5X_4$$

Se toma la solución básica factible de la **FASE I** como la solución inicial y se eliminan las columnas de las variables artificiales.

Teniendo así la siguiente tabla simplex:

Tabla VII.

Base		Variable de decisión				Valores solución
	W	X₁	X₂	X₃	X₄	
X₃	0	0	11/15	1	1/5	60
X₁	0	1	1/30	0	3/5	30
Z	1	0	-28/15	-3	-13/15	120

Como se observa en el cuadro simplex los costos reducidos de las variables básicas X_3 y X_1 no son nulos por ello debemos de hacer cero (0) estos coeficientes para que la tabla sea correcta.

Entonces realizando los cálculos se tiene:

Tabla VIII.

Base		Variable de decisión				Valores solución
	W	X₁	X₂	X₃	X₄	
X₃	0	0	11/15	1	1/5	60
X₁	0	1	1/30	0	3/5	30
Z	1	0	1/3	0	-2	300

Como se observa, uno de los coeficientes de las variables de decisión es menos a cero, por tanto se continúa con las iteraciones

- La variable que entra en la base es X_4 , por ser la variable que corresponde al coeficiente -2 (menor negativo)
- Para calcular la variable que sale, dividimos los términos de la última columna entre los términos correspondientes de la nueva columna pivote:

$$60/(1/5) = 300, 30/(3/5) = 50$$

y como el menor cociente positivo es 50, tenemos que la variable que sale es X_1 .

- El elemento pivote, que ahora hay que hacer 1, es $3/5$.

Una vez reducido el pivot a 1 mediante la reducción gaussiana se hacen 0 los coeficientes restantes de la columna, se tiene:

Tabla IX.

Base		Variable de decisión				Valores solución
		X_1	X_2	X_3	X_4	
X_3	0	-1/3	13/18	1	0	50
X_4	0	5/3	1/18	0	1	50
Z	1	10/3	4/9	0	0	400

Entonces se tiene que los coeficientes de las variables de decisión son mayores o iguales a cero, por tanto se da por concluida las iteraciones obteniéndose la Solución Básica Factible:

$$X_1 = 30, X_2 = 0, X_3 = 50, X_4 = 50$$

El valor optimo de la función es de **Z=400**.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Conociéndose más a fondo el funcionamiento de la empresa ya se puede abordar el tema central de la problemática que aqueja a Grupo Digigraf. El tema que motiva a la Gerencia General a realizar un estudio es el Problema de falta de liquidez que atraviesa la Empresa, lo que lleva a un incumplimiento con el pago a sus trabajadores, deudas con la Superintendencia Nacional de administración Tributaria (SUNAT) y proveedores. Todos estos problemas convertían a la empresa en un lugar con un clima organizacional incómodo, por lo que se decidió trabajar en la búsqueda de la solución.

Enfocándonos en el Problema principal de la Empresa se debe ahora trabajar en la identificación y definición de las principales causas que generan este problema, para lo cual se construye una lista y se evalúa su importancia mediante un diagrama de Causa Efecto o diagrama de Ishikawa.

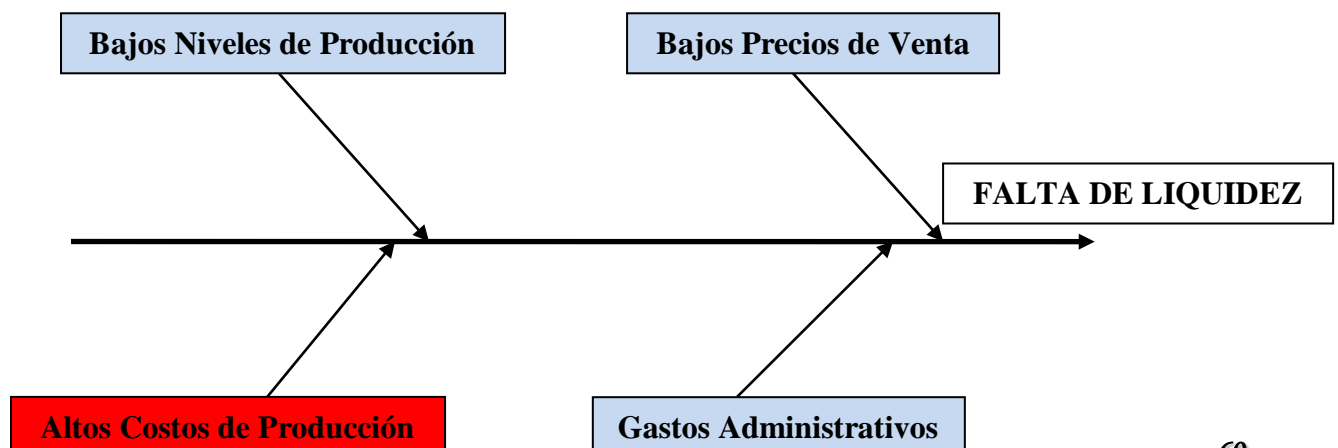
PROBLEMA : FALTA DE LIQUIDEZ EN LA EMPRESA

CAUSAS : BAJOS PRECIOS DE VENTAS

BAJOS NIVELES DE PRODUCCIÓN

ALTOS COSTOS DE INSUMOS

ALTOS COSTOS DE PRODUCCIÓN



Analizando las posibles causas identificadas que generan la falta de liquidez encontramos lo siguiente:

- Revisando los **niveles de Producción** se identificó que la empresa producía a un 70% de su capacidad instalada, y la demanda de productos registraba una tasa de crecimiento de 5% mensual desde el último año, por lo que se concluye que no es una causa que influye de manera negativa a la falta de Liquidez, por el contrario favorece a un crecimiento sostenido en las ventas y por ende a los ingresos de la institución.
- Con respecto a los **Precios de Ventas** del producto se verificó que eran acorde al mercado, un Análisis de precios con respecto a los competidores indica que en algunos casos el precio de venta de Digigraf eran ligeramente mayor, por ende se concluye que no es una causa que afecte de forma negativa a la Liquidez de la Empresa.

Cuadro 1

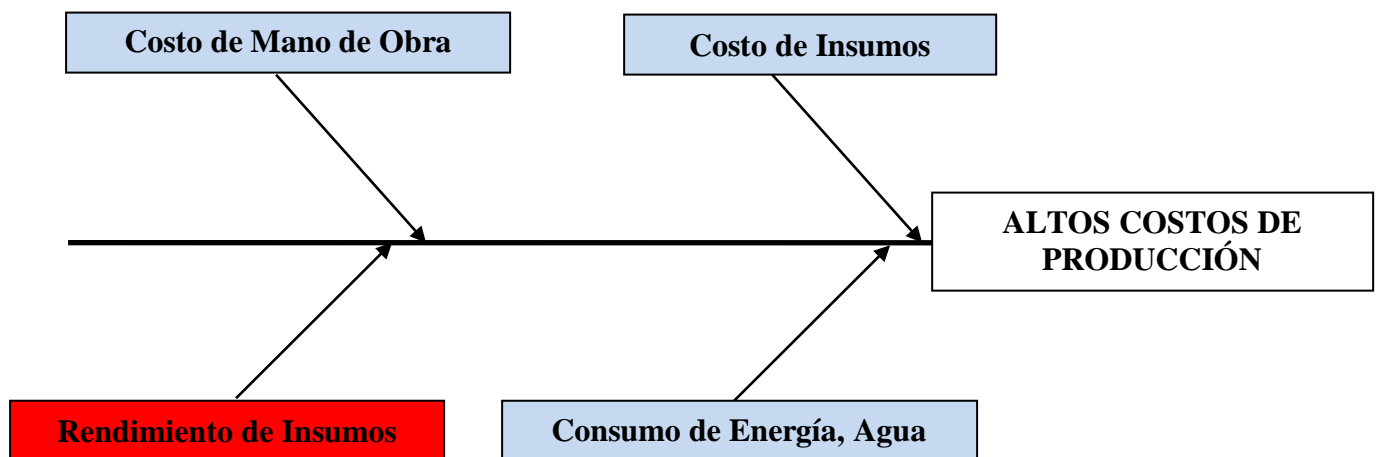
Pre Prensa	TIGREGRAPH	DIGIGRAF	CIMAGRAF
Precio cm ² de filmación	S/. 0.038	S/. 0.040	S/. 0.042

- Analizando la Información de **Gastos Administrativos**, vemos que la empresa cuenta con una política de Austeridad por lo que el costo Administrativo es bajo y se controla la utilización de insumos de escritorio.
- Habiéndose descartado las causas anteriores nos concentramos en la última **En los costos de Producción** en donde al momento de levantar información nos damos cuenta que existe mucho desorden en ello, y al analizar el costo beneficio de la Venta de un servicio de filmación de fotolito se deduce que el costo de producción es bastante alto como se muestra a continuación:

Precio de venta cm ² filmación	S/. 0.040
Costo de insumos por cm2	S/. 0.008
Costo de Producción por cm2	S/. 0.030

Así se deduce que el Costo de Producción representa un 75% del precio de venta final y **la ganancia solo representa un 5%** del precio de venta lo cual es verdaderamente bajo ya que como política de la institución se suponía una ganancia del 20%.

Por ello se representa la Causa principal del problema general y tratamos de identificar cuáles son las causas secundarias que la generan.



- Analizando los **Costos de Insumos**, se identifica que la empresa cuenta con alianzas estratégicas con proveedores, lo cual le garantiza bajos costos de insumos, los cuales se muestran en el cuadro comparativo; es por ello que se concluye que los costos de insumos no son causas de la falta de liquidez en la empresa.

Cuadro 2

INSUMOS	PROVEEDORES	
	DIGIGRAF	MERCADO
ROLLOS PELÍCULAS 3.5M	\$450.00	\$462.00
QUÍMICO REVELADOR	\$17.50	\$18.50
QUÍMICO FIJADOR	\$18.50	\$20.00

- Realizando un análisis a las **planillas de personal de la Empresa**, se descubrió que realmente eran bajos con respecto al mercado; el análisis comparativo se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 3

PERSONAL	SUELDOS	
	DIGIGRAF	MERCADO
DISEÑADORES	1,800.00	S/. 2,200.00
PRACTICANTES	600.00	S/. 800.00
ADMINISTRATIVOS	800.00	S/. 1,100.00

Después de obtener esta información se descarta que los costos de mano de obra sean una causa que genere la falta de liquidez en la institución.

- De la misma manera al realizar el análisis de los **costos de consumo de servicios**, involucrado en el proceso de producción son realmente acorde a los volúmenes de producción que se realizan mes a mes.
- Finalmente queda analizar el **rendimiento de los insumos** principales, que se involucran en la producción, los cuales son:
 - Rollos de Películas
 - Químico Fijador
 - Químico Revelador

El consumo de los Químicos tanto Revelador y Fijador están controlados por la máquina, ya que las maquinarias usadas para la Filmación de Fitolitos cuentan con un sistema automatizado de utilización de Químicos, con lo que se descarta una mala utilización de químicos en el proceso de producción de filmación de fitolitos.

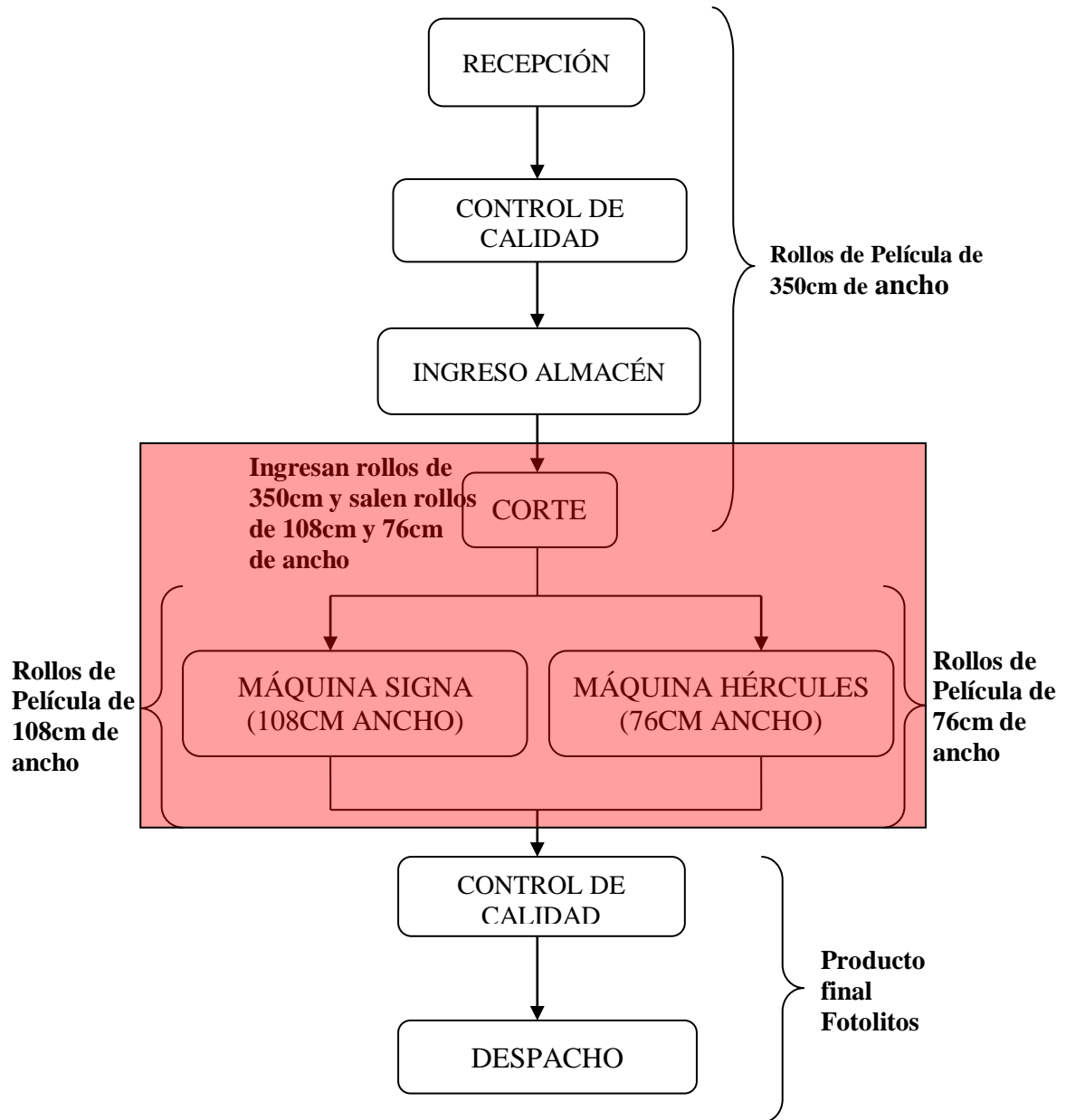
Al analizar el consumo de películas se descubre que existe una gran cantidad de desperdicio de películas, lo cual supera el porcentaje de desperdicio permitido, se identifica entonces que la utilización de las películas para la producción de fitolitos es la causa principal que genera un alto Costo de Producción y a su vez este se refleja en una **Falta de Liquidez de la Empresa**.

Identificada la causa principal del problema se debe de sustentar mediante un análisis minucioso de los desperdicios de películas en el proceso de Filmación de Fitolitos, para lo cual se levanta información de la producción durante un periodo de 2 meses.

Es así que habiéndose identificado que la causa principal del problema es la mala utilización de los rollos de película, debemos de conocer cuál es el proceso que siguen los rollos de película desde que ingresan como materia prima, hasta que salen como producto terminado, esto con el fin de poder conocer y determinar durante que proceso es que ocurre la mala utilización de este insumo.

Para ello se muestra el flujo de proceso que siguen los rollos de películas que son:

FLUJO DE PROCESO DE ROLLOS DE PELÍCULA



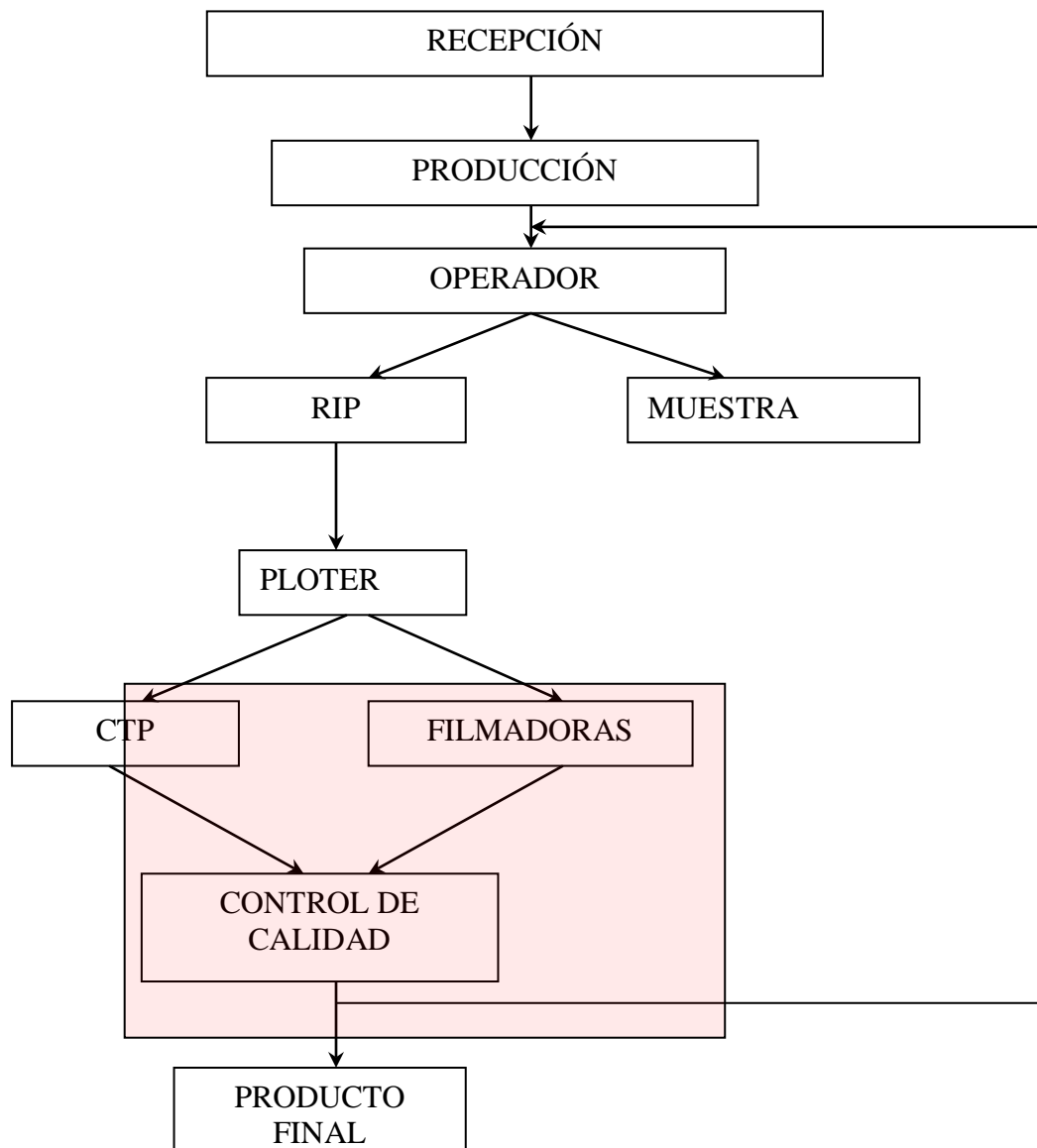
Como se muestra en el flujograma, debemos de segmentar nuestro espacio de análisis, centrándonos netamente en el proceso de Filmación de fotolitos, ya que es el único proceso en el cual se manipulan los rollos de película para ser convertido en fotolitos. Este proceso involucra un

sub proceso de corte previo en el cual se obtienen nuevos rollos con las medidas exactas para su ingreso a las máquinas filmadoras.

Por ello centrándose en el proceso de Filmación, se Plantea un nuevo Objetivo del Proyecto que es determinar el porcentaje real de mermas de Fotolitos, para lo cual se plantea la elaboración de un formato el cual permitirá que los usuarios registren la información necesaria para procesar la información y poder calcular el porcentaje real de mermas.

4.2 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Habiéndose identificado al proceso de Filmación como centro de análisis, se debe mediante un nuevo Flujograma identificar cuáles son las áreas que se encuentran involucradas con el proceso de filmación, en las cuales concentraremos para obtener la información necesaria para poder lograr el objetivo de obtener el porcentaje real de mermas.



Identificándose así que los procesos involucrados directamente en el proceso de filmación de fotolitos son el **Área de Filmación** y el **Área de Control de Calidad**, siendo en estas áreas donde se obtendrá información de primera mano.

Seguidamente se debe de identificar la unidad de medida para evaluar las mermas.

La presentación de las películas en materia prima es por rollos de 3.5m de ancho por 60m de largo; estos rollos a su vez son cortados en sub proceso previo a la filmación en dos formatos para dos tipos de máquinas, formatos de 0.76m o 76cm de ancho para máquina Herkules y 1.08m o 108cm para máquina signa, la venta del producto es por cm^2 , es por ello que para efectos de facilitar un mejor cálculo se trabajará con medidas en cm y para áreas cm^2 .

Para recabar la información requerida se crean formatos especiales en los cuales los operadores registran:

- **Número de secuencia de corte:** Las filmaciones de fotolitos se hacen por secuencias de cortes, los trabajos se agrupan y son filmados en conjunto, es decir, que al colocar un rollo nuevo de película de 60m de largo, se pueden realizar cortes de hasta 10m de largo, y en promedio dependiendo del largo de los cortes un rollo puede ser utilizado hasta en 6 a 15 cortes en promedio; esta información nos sirve para llevar un control ordenado de la salida de cortes de los rollos.
- **Media del Corte de la película:** Se registra el largo del corte, los cual nos sirve para poder calcular el área total de película utilizada para la filmación de una secuencia de filmaciones que se encuentran dentro del corte dado.
- **Número de orden de trabajo:** Se registra el número de las órdenes de producción para realizar el seguimiento del trabajo.

- **Cliente:** se registra el nombre del cliente, con el fin de poder filtrar la información y conocer cuál es la cantidad real de trabajos que se realizan a cada cliente.
- **Medidas a facturar:** Se debe de registrar las medidas de las filmaciones que se les facturan a los clientes, este dato es el segundo más importante para efecto de los cálculos de las mermas, ya que determina cual es la cantidad real de película que se vende.
- **Cantidad de colores Filmados:** El número de colores que se registra es el número de repeticiones de la misma filmación pero en distinto colores, que pueden ser amarillo, magenta, cyan, negro y colores especiales.

La información de registros tanto de rollos de 76cm y rollos de 108cm se encuentran en el **Anexo 1**, donde se ve toda la información recolectada para el estudio.

4.3 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

Una vez recolectada la información del consumo de los rollos de película en el proceso de filmación de fotolitos, se debe de proceder a calcular el nivel de mermas que se obtiene de cada rollo. Para ello se calcula los niveles de mermas de los dos tipo de rollos que se utilizan en la producción como son rollos de 76cm de ancho para máquinas *Herkules* y rollos de 108cm para máquina *Signa*, resultado con el cual se podrá identificar que genera este problema de un alto nivel de mermas.

4.3.1 CALCULO DE NIVEL DE MERMA PARA ROLLOS DE PELÍCULAS EN MÁQUINA HERKULES (76CM DE ANCHO) Y MÁQUINA SIGNA (108CM ANCHO)

Los datos del primer rollo de 76cm de ancho para máquina Hércules estudiado se muestran a continuación:

Cuadro 4 – Formato de Recolección de Datos

ROLLO	CORTE	OT/ REPO	CLIENTE	MEDIDA A FACTURAR			COLORES	OPERADOR		
								O.P.	RIP	C.C.
ROLLO 01	3.52	11042	Cuatricomia	64	x	52	4	Javier	Ronald	Miguel
		11042	Cuatricomia	64	x	42	4	Javier	Ronald	Miguel
	5.77	11041	Termil	70	x	42	4	Patirck	Ronald	Miguel
		11041	Termil	62	x	29.5	4	Patirck	Ronald	Miguel
		11041	Termil	55.4	x	56	4	Patirck	Ronald	Miguel
	3.13	11041	Termil	65.7	x	62	5	Patirck	Ronald	Miguel
	0.54	11046	Dummiest Art	51.5	x	15.7	3	Patirck	Ronald	Miguel
		11054	AG Servicios	32.3	x	18.7	2	Patirck	Ronald	Miguel
	2.15	11049	Sunset Photo	32.2	x	40	3	Patirck	Ronald	Miguel
		11052	Stampa	48.5	x	50.4	3	Patirck	Ronald	Miguel
	0.66	11059	Canepa	34	x	25	3	Juana	Malena	Reny
		11060	Sunset Photo	18	x	23.5	2	Juana	Malena	Reny
		11060	Sunset Photo	18	x	11	3	Juana	Malena	Reny
		11060	Sunset Photo	18.3	x	13.5	1	Juana	Malena	Reny
	1.71	11059	Gamatronic	65.1	x	42	2	Juana	Malena	Reny
		11059	Gamatronic	65.2	x	42	1	Juana	Malena	Reny
		11059	Gamatronic	65.2	x	42	1	Juana	Malena	Reny

ROLLO	CORTE	OT/ REPO	CLIENTE	MEDIDA A FACTURAR			COLORES	OPERADOR		
								O.P.	RIP	C.C.
ROLLO 01	1.94	11059	Gamatronic	65.2	x	42	1	Juana	Malena	Reny
		11059	Gamatronic	65.2	x	42	3	Juana	Malena	Reny
		11061	Laser Disc	13	x	13.2	4	Juana	Malena	Reny
		11058	Cromalin	16.3	x	21.2	4	Juana	Malena	Reny
	9.34	11063	Desarrollo Plastico	35	x	20	4	Edwin	Malena	Reny
		11063	Desarrollo Plastico	30	x	8	4	Edwin	Malena	Reny
		11063	Desarrollo Plastico	25	x	8	1	Edwin	Malena	Reny
		11063	Desarrollo Plastico	45.5	x	34	1	Edwin	Malena	Reny
		R1138	Stampa	69	x	48	1		Malena	Reny
		R1138	Stampa	69	x	48	1		Malena	Reny
		R1138	Stampa	69	x	48	1		Malena	Reny
		11068	Canepa	30	x	25.5	4	Edwin	Malena	Reny
		11068	Canepa	26.5	x	26.5	4	Edwin	Malena	Reny
		11068	Canepa	45	x	23	4	Edwin	Malena	Reny
		11070	Valprint	21.8	x	19.9	1	Edwin	Malena	Reny
		11067	Alora	32	x	22.2	2	Javier	Malena	Reny
		11067	Alora	42.2	x	30	2	Javier	Malena	Reny
		11069	B&S Label Company	12.4	x	20	2	Edwin	Malena	Reny
		11069	B&S Label Company	12.5	x	11	2	Edwin	Malena	Reny
		11062	Gamatronic	65	x	42	5	Juana	Malena	Reny
		11062	Gamatronic	65.1	x	42	6	Juana	Malena	Reny
	5.59	11074	Desarrollo Plastico	64.5	x	29.4	4	Juana	Malena	Reny
		11067	Grafipapel	61	x	25.1	2	Edwin	Malena	Reny
		11075	Desarrollo Plastico	17	x	18	3	Edwin	Malena	Reny
		11071	Acrilinea	30	x	21	2	Edwin	Malena	Reny
		11071	Acrilinea	30	x	21	5	Edwin	Malena	Reny
		11062	Gamatronic	65.1	x	42	5	Juana	Malena	Reny
	3.64	11082	Katty Martínez	11	x	14	4	Edwin	Malena	Reny
		11080	Marca Traiding	61	x	42.2	4	Edwin	Erly	Reny
		11072	MasterGraph	49.3	x	31.2	4	Edwin	Erly	Reny
	5.7	11062	Gamatronic	65.2	x	42	5	Juana	Malena	Malena
		11084	JL	32.5	x	22.5	2	Jorge	Erly	Reny
		11084	JL	26.7	x	22.5	4	Jorge	Erly	Reny
		11084	JL	28.9	x	22.5	4	Jorge	Erly	Reny
		11086	Garden Graf	42.6	x	14.8	4	Jorge	Erly	Reny
		11086	Garden Graf	29.3	x	21	1	Jorge	Erly	Reny
		11096	Alejandro López	42	x	19.5	1	Jorge	Erly	Reny
		11076	Publindustrias	18.5	x	11.5	5	Jorge	Erly	Reny

ROLLO	CORTE	OT/ REPO	CLIENTE	MEDIDA A FACTURAR			COLORES	OPERADOR		
								O.P.	RIP	C.C.
ROLLO 01		11071	Acrilinea	30	x	21	2	Edwin	Erly	Reny
		11071	Acrilinea	30	x	21	5	Edwin	Erly	Reny
	3.84	11089	Cesar Cisneros	21	x	29.7	2	Javier	Malena	Reny
		11078	RF	21.7	x	33	4	Jorge	Malena	Reny
		11078	RF	21.7	x	16	4	Jorge	Malena	Reny
		11078	RF	21.7	x	33	4	Jorge	Malena	Reny
		11062	Gamatronic	65.2	x	42	5	Javier	Malena	Reny
		11097	Salmon & Salmon	30.1	x	25	4	Edwin	Malena	Reny
	6.76	11087	Faber Castell	9	x	15	4	Jorge	Erly	Ronald
		11088	CGC	22.7	x	25	4	Edwin	Erly	Ronald
		11043	Alemana	39.5	x	21	4	Edwin	Erly	Ronald
		11090	Grafipapel	55.5	x	47	4	Edwin	Erly	Ronald
		11090	Grafipapel	64.5	x	49.5	4	Edwin	Erly	Ronald
		11090	Grafipapel	52.5	x	43.5	4	Edwin	Erly	Ronald
		11093	Olivar	40	x	60	4	Patrick	Miguel	Ronald
		11094	CM Gráfica	48	x	56.5	4	Javier	Miguel	Ronald
	3.22	11093	Olivar	40	x	60	4	Patrick	Miguel	Ronald
		11094	CM Gráfica	48	x	56.5	4	Javier	Miguel	Ronald
	2.29	11037	Olivar	23.5	x	18	3	Javier	Miguel	Ronald
		11037	Olivar	25.3	x	41	4	Javier	Miguel	Ronald
		11037	Olivar	25	x	41	4	Javier	Miguel	Ronald
		11105	Grafipapel	56	x	25	4	Ricardo	Miguel	Ronald

Como se observa en los datos, la utilización de los rollos se da por cortes, de estos se registran el largo, las áreas de trabajo a facturar que se realizan dentro de estos cortes y finalmente la cantidad de colores o número de filmaciones del mismo trabajo que se procesan.

Para calcular el rendimiento de rollos, se realiza primero los cálculos de las áreas por cortes, y estas se comparan con la suma de las áreas de los trabajos realizadas en este corte. Luego se construye un resumen de áreas por corte versus áreas de trabajos a facturar, con lo cual se podrá realizar la comparación y finalmente obtener el área de película no utilizada que se le denomina merma de producción.

Entonces como se muestra en el cuadro siguiente, Tenemos un corte de 3.52m de largo y dos trabajos de 64cm x 52cm a 4 colores y 64cm x 42cm a 4 colores, y al lado el nombre de los operadores encargados de realizar el trabajo.

Cuadro 5 – Datos del Corte

CORTE	OT/ REPO	CLIENTE	MEDIDA A FACTURAR			COLORES	OPERADOR		
							O.P.	RIP	C.C.
3.52	11042	Cuatricomia	64	x	52	4	Javier	Ronald	Miguel
	11042	Cuatricomia	64	x	42	4	Javier	Ronald	Miguel

- **Área del Corte**

3.52m que equivale a 352cm por ancho de rollo que es 76cm se obtiene **26752cm²**

- **Área de película a Facturar**

64cmx52cm equivale a 3328cm² x 4 colores resulta 13312cm²

64cmx42cm equivale a 2688cm² x 4 colores resulta 10752cm²

Total **24064cm²**

- **Área de la Merma**

Equivale a área de corte – área de película a facturar – áreas de trabajos repuestos – áreas de trabajos dañados.

$$\begin{aligned}
 &= 26752\text{cm}^2 - 24064\text{cm}^2 - 0\text{cm}^2 - 0\text{cm}^2 \\
 &= \mathbf{2688\text{cm}^2}
 \end{aligned}$$

- **% de Merma**

Equivale al área de la merma dividido entre el área del corte.

$$\begin{aligned}
 &= 2688\text{cm}^2 / 26752\text{cm}^2 \\
 &= \mathbf{10.05\%}
 \end{aligned}$$

Es así que se obtiene que este corte tiene un porcentaje de merma que equivale al 10.05%, el cual se encuentra por debajo de los niveles permitido que son de 20%.

Del mismo modo como se han calculado las áreas tanto del corte como las áreas a facturar y el porcentaje de merma del corte, se calculan lo mismo para todos los cortes que se han realizado de un mismo rollo.

Una vez calculada estas áreas se elabora un cuadro resumen en el cual se registra, de los cortes; sus respectivas áreas, áreas a facturar, áreas de trabajos repuestos, áreas de trabajos dañados, se calcula la merma en cm^2 y el porcentaje que estas equivalen del total; siendo el resultado final como se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 6 – Datos de Rollos de 76cm

Cortes	Dimensión cm	Área total cm ²	Área facturada cm ²	Área repuesta cm ²	Área dañada cm ²	MERMA cm ²	%
1	352	26752	24064	0	0	2688	10.05%
2	577	43852	31485.6	0	0	12366.4	28.20%
3	313	23788	20367	0	0	3421	14.38%
4	54	4104	3633.67	0	0	470.33	11.46%
5	215	16340	11197.2	0	0	5142.8	31.47%
6	66	5016	4237.05	0	0	778.95	15.53%
7	171	12996	10945.2	0	0	2050.8	15.78%
8	194	14744	13022.24	0	0	1721.76	11.68%
9	934	70984	50728.82	9936	0	10319.18	14.54%
10	559	42484	29646.4	0	0	12837.6	30.22%
11	364	27664	17065.44	0	0	10598.56	38.31%
12	570	43320	29588.47	0	0	13731.53	31.70%
13	384	29184	22057	0	0	7127	24.42%
14	676	51376	41478	0	0	9898	19.27%
15	322	24472	20448	0	0	4024	16.44%
16	229	17404	15118.2	0	0	2285.8	13.13%
5980		454480	345082.29	9936	0	99461.71	21.9%

Cabe aclarar que del cuadro se puede observar que el largo total del rollo es de solo 5980cm, debiendo ser 6000cm, esto debido a que en el momento de la instalación del rollo se utilizan 20cm para prueba.

Entonces habiendo calculado el porcentaje de mermas de los 16 cortes del **Rollo 1** se obtiene los resultados finales del Rollo como se muestra en la parte final del cuadro anterior.

Es así que se obtiene el porcentaje general de merma del **Rollo 1** que equivale a **21.9%**, el cual supera ligeramente al porcentaje establecido, pero esta muestra no es suficiente para poder sustentar una

mala utilización de película en las máquinas para esto se debe de realizar el análisis los 32 rollos utilizados en máquinas *Herkules* y 8 rollos en máquina *Signa*.

Entonces, siguiendo el mismo procedimiento que se utilizo para el cálculo de la merma en el rollo 1, se debe calcular los porcentajes de mermas de los 31 rollos restantes de la máquina *Herkules* y los 8 rollos restantes de la máquina *Signa*, es así que se obtiene:

Cuadro 7 - RESUMEN ESTADÍSTICO DE ROLLOS – 76CM DE ANCHO MÁQUINA HÉRCULES

Rollo	Centímetros (cm)		CENTÍMETROS CUADRADOS (cm ²)					MERMA	%
	Dimensión	CORTE DE INSTALACIÓN	ÁREA DE INSTALACIÓN cm ²	área total Útil	área facturada	área repuesta	área dañada		
1	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	345,082.29	9,936.00	-	99,461.71	21.9%
2	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	363,951.16	2,400.00	-	88,128.84	19.4%
3	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	373,016.70	-	-	81,463.30	17.9%
4	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	350,836.56	16,179.17	-	87,464.27	19.2%
5	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	375,726.91	-	-	78,753.09	17.3%
6	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	353,356.58	-	-	101,123.42	22.3%
7	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	367,983.14	-	-	86,496.86	19.0%
8	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	380,706.86	-	-	73,773.14	16.2%
9	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	371,324.86	-	-	83,155.14	18.3%
10	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	367,049.26	-	-	87,430.74	19.2%
11	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	390,802.00	-	-	63,678.00	14.0%
12	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	352,768.88	-	-	101,711.12	22.4%
13	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	363,499.79	-	-	90,980.21	20.0%
14	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	356,016.36	3,477.54	-	94,986.10	20.9%
15	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	355,185.22	-	-	99,294.78	21.8%
16	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	371,296.20	4,731.65	-	78,452.15	17.3%
17	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	352,517.95	255	-	101,707.05	22.4%
18	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	377,391.38	-	-	77,088.62	17.0%
19	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	360,843.96	143.5	-	93,492.54	20.6%
20	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	355,782.74	-	-	98,697.26	21.7%

Rollo	Dimensión	CORTE DE INSTALACIÓN	ÁREA DE INSTALACIÓN cm ²	área total Útil	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
21	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	352,130.73	-	-	98,059.51	21.6%
22	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	359,665.18	1,160.32	-	93,654.50	20.6%
23	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	355,494.53	4,552.80	-	94,432.67	20.8%
24	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	352,122.68	763	-	101,594.32	22.4%
25	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	368,676.88	1,218.00	-	84,585.12	18.6%
26	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	363,377.88	-	-	91,102.12	20.0%
27	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	329,594.98	22,647.20	-	102,237.82	22.5%
28	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	369,225.36	-	-	85,254.64	18.8%
29	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	359,072.41	-	-	95,407.59	21.0%
30	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	353,968.58	3,901.50	-	96,609.92	21.3%
31	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	367,353.31	-	-	87,126.69	19.2%
32	5,980.00	20	1,520.00	454,480.00	373,203.18	-	-	81,276.82	17.9%

PROMEDIO GENERAL 19.8%

Cuadro 8 - RESUMEN ESTADÍSTICO DE ROLLOS – 108CM DE ANCHO MÁQUINA SIGNA

Rollo	centímetros		CENTÍMETROS CUADRADOS						%
	Dimensión	CORTE DE INSTALACIÓN	ÁREA DE INSTALACIÓN	área Útil	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	
1	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	519,605.68	-	-	126,234.32	19.5%
2	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	501,585.10	-	-	144,254.90	22.3%
3	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	520,835.36	-	-	125,004.64	19.4%
4	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	506,448.50	5,054.00	-	134,337.50	20.8%
5	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	515,962.85	-	-	129,877.15	20.1%
6	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	503,306.01	-	-	142,533.99	22.1%
7	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	521,140.42	-	-	124,699.58	19.3%
8	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	516,732.28	-	-	129,107.72	20.0%

PROMEDIO GENERAL 20.4%

Los cuadros anteriores muestran el resumen general de los cálculos de mermas de los 32 rollos utilizados en la Máquina *Herkules* (formato 76cm de ancho), y los 8 rollos utilizados en máquinas *Signa* (formato 108cm de ancho); obteniéndose un porcentaje general de 19.8% para formatos de 76cm y 20.4% para formatos de 108cm.

Por los resultados obtenidos después de haber analizado los niveles de mermas al total de rollos utilizados en la producción de un lote completo de fotolitos, se deduce que los niveles de mermas obtenidos, que son de 20% en conjunto están de acorde a los estándares de producción de Fotolitos, por lo cual se concluye que durante el proceso de filmación de fotolitos en máquina no se desperdicia películas.

Como se ha podido demostrar no existe una mala utilización de película durante el proceso de filmación de fotolitos, pero en contraste a esto se conoce que el problema es la elevada cantidad de desperdicio o merma. Por lo cual debemos de concentrarnos más en el proceso que siguen los rollos de película desde su adquisición hasta que se convierten en producto final, descartando ya el proceso de filmación de fotolitos.

Continuando con el análisis se ve que dentro del proceso de filmación de fotolitos solo se ha analizado el uso directo de película en la filmación, faltando aun analizar el sub proceso previo de cortes de rollo que se realiza antes de la filmación.

4.3.2 SUB PROCESO DE CORTE DE PELÍCULAS

Como se ha descrito anteriormente los rollos de película que se utilizan para la filmación de fotolito llegan al almacén en formatos de 350cm de ancho, y para que estos ingresen a máquina pasan por un proceso de corte en formatos de 76cm y 108cm.

El procedimiento de cortar los rollos se realiza de forma a priori y según la necesidad de rollos que se tenga, no se cuenta con un procedimiento adecuado de corte que permita obtener el menor margen de desperdicio.

Los cortes se realizan por lotes de producción mensual, la demanda estándar de rollos de producción son de 32 rollos de formato 76cm y 8 rollos de formato 108cm, para obtener esta cantidad de rollos cortados se compran 11 rollos de película de formato 350cm.

Los cortes de los rollos se realizan en una habitación oscura, pues de tener contacto con la luz corren riesgo de ser velados y por ende se deterioran. Es importante resaltar que por las características del material una vez cortado deben de ser utilizados durante el mismo lote de producción (mismo mes) ya que corren riesgo de que se deteriore por el ingreso de luz, por tal motivo no se da el caso que un rollo de película que es cortado durante un lote de producción pase al siguiente lote.

El procedimiento actual estándar de corte de rollos que se realiza es como se muestra en la figura siguiente:

Rollo 1	108	108	108	26
Rollo 2	108	108	108	26
Rollo 3	108	108	76	58
Rollo 4	76	76	76	76
Rollo 5	76	76	76	76
Rollo 6	76	76	76	76
Rollo 7	76	76	76	76
Rollo 8	76	76	76	76
Rollo 9	76	76	76	76
Rollo 10	76	76	76	76
Rollo 11	76	76	76	274

De la figura anterior se aprecia una gran cantidad de desperdicio después del corte de los rollos, para tener mayor precisión se calcula cuanto representan estos desperdicios, con respecto a todo el material que interviene en el corte

MODELO ACTUAL DE CORTES DE ROLLOS DE PELÍCULA						
ROLLO	CORTES DE ROLLO		ANCHOS cm			ÁREA DE MERMA cm ²
	76cm	108cm	FABRICA	USADO	MERMA	
1	-	3.00	350.00	324.00	26.00	156,000.00
2	-	3.00	350.00	324.00	26.00	156,000.00
3	1.00	2.00	350.00	292.00	58.00	348,000.00
4	4.00		350.00	304.00	46.00	276,000.00
5	4.00	-	350.00	304.00	46.00	276,000.00
6	4.00	-	350.00	304.00	46.00	276,000.00
7	4.00	-	350.00	304.00	46.00	276,000.00
8	4.00	-	350.00	304.00	46.00	276,000.00
9	4.00	-	350.00	304.00	46.00	276,000.00
10	4.00	-	350.00	304.00	46.00	276,000.00
11	3.00	-	350.00	228.00	122.00	732,000.00
TOTAL	32.00	8.00	3,850.00	3,296.00	554.00	3,324,000.00

% de mermas 14.39%

Es así que habiéndose analizado el nivel de mermas después del proceso de corte se obtiene un 14.39% de merma que sumado al 20% de mermas que se tiene durante el proceso de filmación nos da un total de 34.39% de merma por rollos, lo cual grafica claramente la mala utilización de este insumo y por ende la baja productividad de los rollos.

Por otro lado, viendo el problema desde el punto de vista de rentabilidad, observamos que los fotolitos se comercializan por cm^2 , teniendo un precio de **S/. 0.030 por cm^2** . Es decir un rollo que representa **2'100,000.00cm^2** debería tener un valor de venta considerándose solo el 80% debido a los estándares normales de mermas en proceso de filmación de **S/. 50,400.00**, el rollo tiene un costo de **S/. 12,500.00**, obteniéndose una rentabilidad por rollo de **S/. 37,900.00**; pero la realidad es otra ya que se tiene un 14.39% extra de merma por los cortes que se realizan a los rollos, estas merma son de **$302,181.82\text{cm}^2$** ; es decir se tiene una pérdida de **S/. 9,065.45** por rollo y como se consumen **11 rollos por mes**, esto representa una pérdida de **S/. 99,720.00 por mes**. Esto explica la falta de liquidez en la empresa.

Luego de un complejo análisis se ha podido determinar que el principal problema que aqueja a la empresa es la mala política que se tiene en el proceso de cortes de rollos para la filmación de fotolitos, por ello se plantea una solución enfocada en reducir al máximo el 14.39% de merma que se obtiene al realizar el proceso de cortes de rollos.

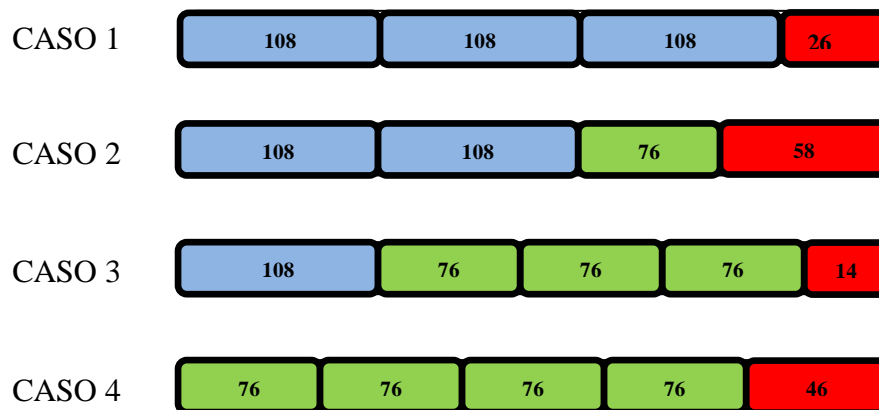
Como se puede ver este problema en un problema de corte de rollos, que puede ser resuelto mediante un modelo de Programación Lineal en el que se busca satisfacer la demanda mensual de rollos de película minimizando la cantidad de desperdicio de película.

4.4 DESARROLLO DEL MODELO Y EXPERIMENTACIÓN

La demanda mensual de rollos es de 32 rollos de película de 76cm de ancho y 8 rollos de película de 108cm de ancho; estos rollos deben ser obtenidos de rollos de 350cm de ancho. El problema consiste en encontrar una solución que nos permita abastecer esta cantidad de rollos obteniendo roles de cortes que nos permitan reducir el desperdicio de película.

MODELO DE SOLUCIÓN DE CORTES

Debemos de analizar todas las posibilidades que existen de cortar un rollo de 350cm de ancho para conseguir rollos más pequeños de 76cm y 108cm de ancho, estas posibilidades son:



Como se puede observar en el Gráfico anterior solo existen 4 formas de realizar los cortes para obtener estos tipos de rollos. Entonces definimos nuestras Variables de Decisión.

X_i : N° de Veces que se realiza el corte de un rollo de 350cm en la forma del Caso i

Ahora se debe de definir cuál es la función objetivo del Programa Lineal, para ello analizamos los casos de cortes que tenemos

- **CASO 1:**

Obtendremos 3 rollos de 108cm de ancho y un desperdicio de 26cm. Es decir tenemos 324cm de rollos de película útil y 26cm de merma.

- **CASO 2:**

Obtendremos 2 rollos de 108cm de ancho, 1 rollo de 76cm de ancho y un desperdicio de 58cm. Es decir tenemos 292cm de rollos de película útil y 58cm de merma.

- **CASO 3:**

Obtendremos 1 rollos de 108cm de ancho, 3 rollos de 76cm de ancho y un desperdicio de 14cm. Es decir tenemos 336cm de rollos de película útil y 14cm de merma.

- **CASO 4:**

Obtendremos 4 rollos de 76cm de ancho y un desperdicio de 46cm. Es decir tenemos 304cm de rollos de película útil y 46cm de merma.

Viéndolo desde este punto de vista y teniendo como objetivo el obtener los rollos deseados para la producción mensual de fotolitos tratando de tener la menor cantidad de desperdicio posible, nos trazamos la Función objetivo para nuestro problema.

Función Objetivo

$$\text{Min } z = 26X_1 + 58X_2 + 14X_3 + 46X_4$$

Continuando se debe de definir las restricciones que se tiene para este modelo, como son:

1.- Restricción de cantidad de rollos de 76cm de ancho

Se debe de sumar las cantidades de rollos que se obtendrán al aplicar cada caso de corte y esta suma debe ser igual a la cantidad de rollos de formato 76cm que se necesitan por mes, es decir 32. Entonces se tiene:

$$X_2 + 3X_3 + 4X_4 = 32$$

2.- Restricción de cantidad de rollos de 108cm de ancho

Se debe de sumar las cantidades de rollos que se obtendrán al aplicar cada caso de corte y esta suma debe ser igual la cantidad de rollos de formato 108cm que se necesitan por mes, es decir 8. Entonces se tiene:

$$3X_1 + 2X_2 + X_3 = 8$$

3.- Restricción de no negatividad de las variables

Esta restricción nos ayuda a que los valores obtenidos al resolver el modelo sean no negativos o positivos. Por ello se tiene.

$$X_1 \geq 0$$

$$X_2 \geq 0$$

$$X_3 \geq 0$$

$$X_4 \geq 0$$

Entonces el Modelo Final de Programación Lineal es como se muestra:

$$\text{Min } z = 26X_1 + 58X_2 + 14X_3 + 46X_4$$

s.a.

$$X_2 + 3X_3 + 4X_4 = 32$$

$$3X_1 + 2X_2 + X_3 = 8$$

$$X_1 \geq 0$$

$$X_2 \geq 0$$

$$X_3 \geq 0$$

$$X_4 \geq 0$$

4.5 SOLUCIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para encontrar una solución óptima al modelo Lineal planteado se utiliza el Método Simplex el cual brinda el valor óptimo de la función objetivo, y con ello los modelos de cortes necesarios. Con el fin de realizar el análisis de los resultados obtenidos, se utiliza el *software* LINDO (*Linear Interactive Discrete Optimize*), el cual además de permitir procesar la información rápidamente brinda información adicional sobre la solución óptima obtenida.

4.5.1 Solución Método Simplex – Método de dos Fases

Para poder resolver el modelo utilizamos el método simplex, el cual nos permitirá obtener la solución óptima al modelo:

$$\text{Min } z = 26X_1 + 58X_2 + 14X_3 + 46X_4$$

s.a.

$$3X_1 + 2X_2 + X_3 = 8$$

$$X_2 + 3X_3 + 4X_4 = 32$$

$$X_1 \geq 0$$

$$X_2 \geq 0$$

$$X_3 \geq 0$$

$$X_4 \geq 0$$

Como se observa las restricciones son igualdades, por ello no podemos utilizar variables de holgura, pero si utilizaremos variables artificiales (Y_1 , Y_2), Entonces Estandarizando el modelo tenemos:

$$\text{Min } z = 26X_1 + 58X_2 + 14X_3 + 46X_4$$

s.a.

$$3X_1 + 2X_2 + X_3 + 0X_4 + Y_1 + 0Y_2 = 8$$

$$0X_1 + X_2 + 3X_3 + 4X_4 + 0Y_1 + Y_2 = 32$$

$$X_i \geq 0; i = 1, 2, 3$$

$$Y_j \geq 0; j = 1, 2$$

Para poder resolver este problema Lineal que cuenta con dos variables artificiales, se debe de hacer uso del Método de Dos Fases, el cual permitirá obtener soluciones básicas factibles.

FASE I

La nueva función objetivo que se tiene es la de minimizar la suma de las variables artificiales.

$$\text{Min } W = Y_1 + Y_2$$

Ahora se resuelve el problema por el método simplex tradicional como un problema de Maximización, recordando que

$$\text{Min } W = \text{Max } (-W)$$

El nuevo modelo se queda así:

$$\text{Max } -W = -Y_1 - Y_2$$

s.a.

$$3X_1 + 2X_2 + X_3 + 0X_4 + Y_1 + 0Y_2 = 8$$

$$0X_1 + X_2 + 3X_3 + 4X_4 + 0Y_1 + Y_2 = 32$$

$$X_1 \geq 0; X_2 \geq 0; X_3 \geq 0; X_4 \geq 0; Y_1 \geq 0; Y_2 \geq 0$$

Se resuelve el modelo en la tabla simplex como se muestra:

Tabla I.

Base		Variables de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	
Y1	0	0	1	3	4	1	0	32
Y2	0	3	2	1	0	0	1	8
W	-1	0	0	0	0	1	1	0

Como se observa los costos reducidos de las variables básicas Y_1 , Y_2 no son nulos por ello se deben de reducir a 0, ya que se debe de respetar que los costos reducidos de las variables básicas sean 0. Entonces se reducen estos coeficientes (fila $Y_1 \cdot -1$ y se le suma a la fila W), luego (fila $Y_2 \cdot -1$ y se le suma a la fila W) obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla II.

Base		Variables de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	
Y1	0	0	1	3	4	1	0	32
Y2	0	3	2	1	0	0	1	8
W	-1	-3	-2	-1	0	1	0	-8

Tabla III.

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	
Y1	0	0	1	3	4	1	0	32
Y2	0	3	2	1	0	0	1	8
W	-1	-3	-3	-4	-4	0	0	-40

Así se observa que los costos reducidos de las variables básicas son ceros, por ello se procede a resolver el método simplex normalmente, obteniéndose así la siguiente tabla:

Tabla IV. Primera Iteración

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	
Y1	0	0	1	3	4	1	0	32
Y2	0	3	2	1	0	0	1	8
W	-1	-3	-3	-4	-4	0	0	-40

Aplicando la condición de optimalidad se identifica que la variable que sale es Y_1 e ingresa X_3 , como se tiene de *pivote* al valor 1 los datos quedan como están, mediante el método de reducción de Gaussiana se hace cero los términos restantes de la columna, entonces se tiene la nueva tabla de iteración:

Tabla V. Segunda Iteración

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	
Y2	0	-9	-5	0	4	1	-3	8
X3	0	3	2	1	0	0	1	8
W	-1	9	5	0	-4	0	4	-8

Aplicando la condición de factibilidad, la variable que sale es Y_2 e ingresa X_4 , el nuevo pivote es 4 entonces se divide a los valores de la fila entre 4 y una vez más mediante la reducción Gaussiana se hacen ceros los términos restantes de la columna. Obteniéndose la nueva tabla simplex

Tabla VI. Final FASE I

Base		Variable de decisión				Variable artificial		Valores solución
	W	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	
X4	0	-2.3	-1.3	0	1	0.25	-0.8	2
X3	0	3	2	1	0	0	1	8
W	-1	0	0	0	0	1	1	0

Como se observa todos los valores de la fila de W son positivos, los valores de las variables artificiales son ceros, en consecuencia el valor de la Función W tiene valor 0, con lo que se da por concluida la **FASE I** con una solución básica factible:

$$X_1=0; X_2=0; X_3=8; X_4=2.$$

FASE II

$$\text{Max } -Z = -26X_1 - 58X_2 - 14X_3 - 46X_4$$

Se toma la solución básica factible de la **FASE I** eliminando las columnas de las variables artificiales, obteniéndose:

Tabla VII. FASE II

Base		Variable de decisión				Valores solución
	Z	X1	X2	X3	X4	
X4	0	-2.3	-1.3	0	1	2
X3	0	3	2	1	0	8
Z	-1	26	58	14	46	0

De la misma forma que en la Fase Uno se observa los costos reducidos de las variables básicas X_4 , X_3 no son nulos por ello se deben de reducir a 0, ya que se debe de respetar que los costos reducidos de las variables básicas sean 0. Entonces para reducir estos coeficientes se hace (fila $X_3 \cdot -1$ y se le suma a la fila Z), luego (fila $X_4 \cdot -1$ y se le suma a la fila Z) obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla VIII. FASE II

Base		Variable de decisión				Valores solución
	Z	X1	X2	X3	X4	
X4	0	-2.3	-1.3	0	1	2
X3	0	3	2	1	0	8
Z	-1	130	116	14	0	-92

Tabla IX. FASE II

Base		Variable de decisión				Valores solución
	W	X1	X2	X3	X4	
X4	0	-2.3	-1.3	0	1	2
X3	0	3	2	1	0	8
Z	-1	88	88	0	0	-204

Entonces se tiene que los coeficientes de las variables de decisión son mayores o iguales a cero, por tanto se da por concluida las iteraciones obteniéndose la Solución Básica Factible:

$$X_1 = 0, X_2 = 0, X_3 = 8, X_4 = 2$$

El valor óptimo de la función es de **Z=204**.

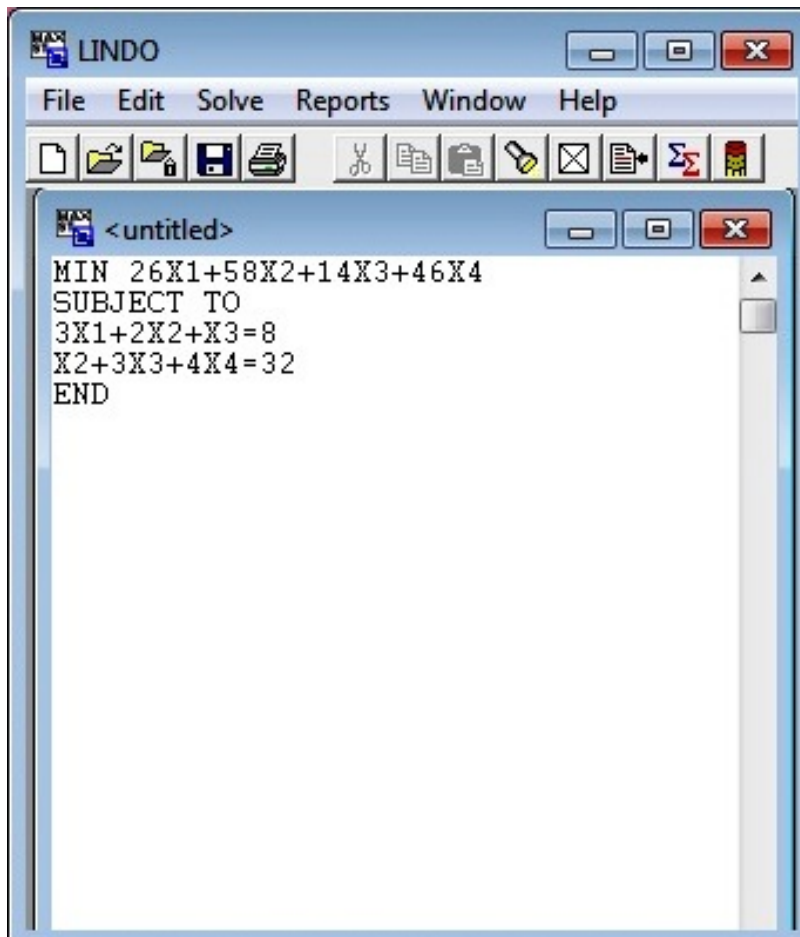
4.5.2 Solución *Software* LINDO

A continuación se considera importante mostrar cómo resolver el problema de Programación Lineal obtenido para el problema de DIGIGRAF S.A. mediante el *software* LINDO, que en su versión demo nos permite resolver problemas con un número limitado de variables y restricciones de una manera amigable y sencilla, además de presenta la ventaja del análisis de sensibilidad que permitirá realizar cambios en algunos parámetros del problemas obteniendo rápidamente una solución.

Adicionalmente se debe mencionar que en la empresa se podrá utilizar este software o uno relacionado.

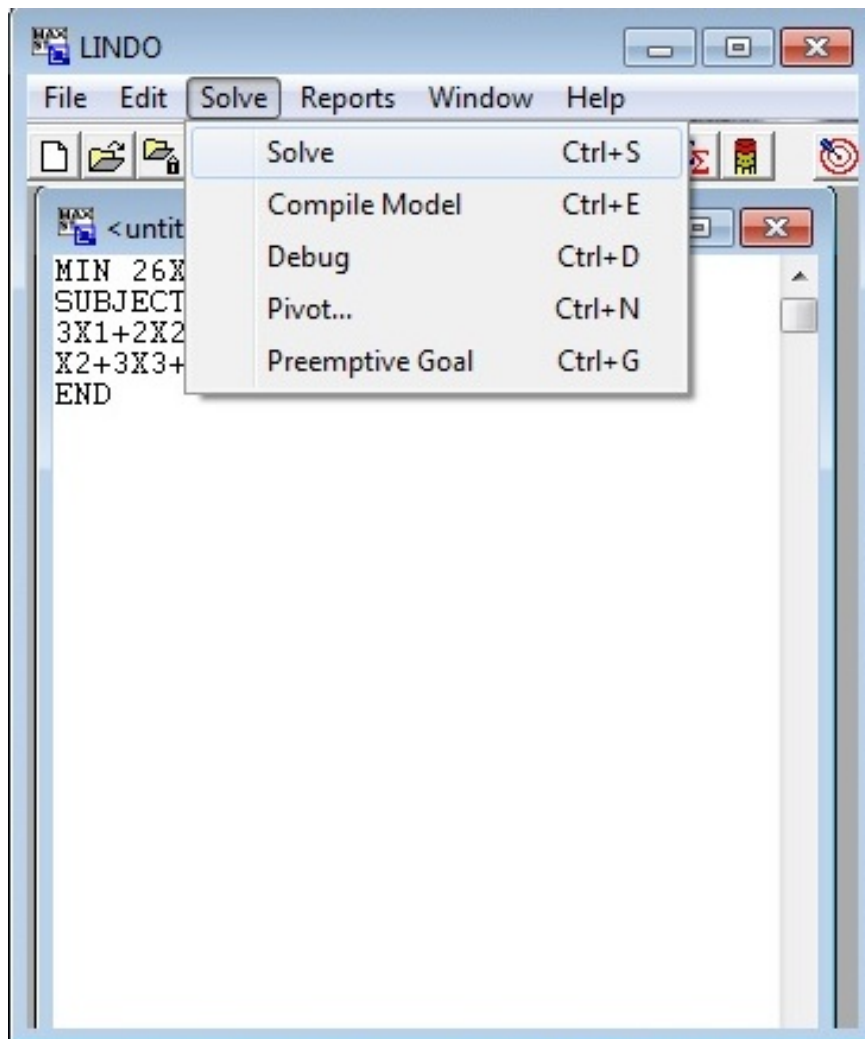
Para trabajar con el *software* LINDO, se debe de ingresar el Programa Lineal, en la pantalla correspondiente según las reglas del software tal como se muestra a continuación:

INGRESO DE DATOS



Se digita la función objetivo sin considerar la variable z , luego el comando *SUBJECT TO* antes de colocar las restricciones, al finalizar se digita el comando *END*.

Una vez digitado y verificado que el modelo esté perfectamente escrito en el *software*, se procede a solucionar el caso, como se muestra en la figura siguiente:



Presionando la opción SOLVE se obtiene así los resultados como se muestra a continuación en el recuadro, el cual nos muestra los valores de la solución óptima además de la información para realizar el análisis de sensibilidad de la información obtenida, si fuere necesario.

MAX Reports Window

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 204.0000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	87.500000
X2	0.000000	87.500000
X3	8.000000	0.000000
X4	2.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	20.500000
3)	0.000000	-11.500000

NO. ITERATIONS= 1

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	26.000000	INFINITY	87.500000
X2	58.000000	INFINITY	87.500000
X3	14.000000	29.166666	INFINITY
X4	46.000000	INFINITY	38.888889

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	8.000000	2.666667	8.000000
3	32.000000	INFINITY	8.000000

Los resultados indican que no se deben realizar cortes con el modelo del caso 1 ($X_1=0$), ni con el modelo del caso 2 ($X_2=0$) y que se deben de realizar 8 cortes del caso 3 ($X_3=8$) y 2 cortes del caso 4 ($x_4=2$), con lo cual se está reduciendo las mermas hasta 204cm de ancho; es decir de 554cm que se tiene con los procedimientos utilizados, se reduce a 204cm logrando disminuir en 350cm de ancho las mermas.

Entonces para obtener **32 rollos de película de 76cm** de ancho y **8 rollos de película de 108cm** de ancho se deben de cortar solo **10 rollos de 350cm** de ancho, **8 rollos de la forma Caso 3** y **2 rollos de la forma Caso 4**. El modelo obtenido es como se muestra:

MODELO DE SOLUCIÓN DE CORTES DE ROLLOS DE 350cm PARA OBTENER 32 ROLLOS DE 76cm Y 8 DE 108cm

Rollo 1	108	76	76	76	14	Caso 3
Rollo 2	108	76	76	76	14	Caso 3
Rollo 3	108	76	76	76	14	Caso 3
Rollo 4	108	76	76	76	14	Caso 3
Rollo 5	108	76	76	76	14	Caso 3
Rollo 6	108	76	76	76	14	Caso 3
Rollo 7	108	76	76	76	14	Caso 3
Rollo 8	108	76	76	76	14	Caso 3
Rollo 9	76	76	76	76	46	Caso 4
Rollo 10	76	76	76	76	46	Caso 4

Esta solución brinda un área útil de 3,296cm de ancho en total, esto equivale a 204cm de merma de los 10 rollos utilizados, lo que representa solo un 5.83% de merma, a diferencia del 14.39% actual, lo cual permite un ahorro en material que asciende a **S/. 56,520.00** por mes.

Se propone entonces el cambio del modelo actual de cortes por este nuevo modelo que permitirá un mejor uso del insumo, en este caso las películas. Con esto se está brindando una solución que permitirá ir superando los problemas financieros por los que atraviesa la empresa, alcanzando el objetivo inicial de reducir el nivel de desperdicio de los insumos y aprovechar al máximo el uso de estos.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad es una de las partes más importantes en la programación lineal, sobre todo para la toma de decisiones. Este análisis consiste en determinar que tan sensible es la respuesta óptima del Método Simplex, al cambio de algunos datos como las ganancias o costos unitarios (coeficientes de la función objetivo) o la disponibilidad de los recursos (términos independientes de las restricciones).

Tomando como base la información que nos proporciona el LINDO al desarrollar el Problema Lineal, se procede a analizar los datos para ver la variación de la Función objetivo de darse algunos cambios del problema original.

Se tiene:

Función Objetivo

```
MIN 26X1+58X2+14X3+46X4
SUBJECT TO
3X1+2X2+X3=8
X2+3X3+4X4=32
END
```

Obteniéndose los siguientes rangos de Sensibilidad

Valores de Solución Básica

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 204.0000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	87.500000
X2	0.000000	87.500000
X3	8.000000	0.000000
X4	2.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	20.500000
3)	0.000000	-11.500000

NO. ITERATIONS= 1

Cantidad en que tendría que disminuir el coeficiente objetivo asociado a la variable para que resulte rentable asignar un valor no nulo a la variable.

Dice cuan cerca se está de agotar los recursos asociados a las restricciones

Cantidad en que mejoraría la función objetivo si se considera una unidad más del recurso correspondiente.

Interesa ahora destacar la información que proporciona y que se explica en los cuadros anteriores.

La columna de Costo Reducido (*REDUCED COST*), muestra que, en la solución final las variables X_1 , X_2 no tomarán un valor estrictamente positivo a menos que sus coeficientes objetivos se reduzcan en más de 87.5 unidades (es decir que pase de ser 26 a ser menor que -61 en el caso de la variable X_1 y de 58 a ser menor que -29 en el caso de la variable X_2).

En cuanto a los valores de las columnas de Carencia o Excedente (*Slack or Surplus*), se deduce que ambas restricciones se cumplen en igualdad (se agotan la 8 unidades de rollos de 108cm y los 32 rollos de 76cm que se requerían)

Finalmente al analizar el precio dual (o precio sombra) toma un valor de 20.5 en la primera restricción, lo que significa que sería rentable aumentar en una unidad este recurso (necesitar 9 unidades de rollos de 108cm en vez de solo 8) ya que nuestra función objetivo mejoraría en 20.5. En la segunda restricción se tiene un valor de -11.50, lo cual significa que no sería rentable aumentar en una unidad este recurso (necesitar 33 unidades de rollos de 76cm en vez de 32) ya que nuestros costos se incrementarían en 11.5, siempre que los demás parámetros sigan fijos.

Ahora se analizan los datos de los rangos *SENSIBILITY RANGE ANALYSIS*

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	26.000000	INFINITY	87.500000
X2	58.000000	INFINITY	87.500000
X3	14.000000	29.166666	INFINITY
X4	46.000000	INFINITY	38.888889

Cantidad máxima en que se pueden aumentar o disminuir los coeficientes objetivos sin variar la solución óptima

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	8.000000	2.666667	8.000000
3	32.000000	INFINITY	8.000000

Cantidad máxima en que se pueden aumentar o disminuir los recursos disponibles sin variar la solución

Al analizar los cambios en los Coeficientes Objetivos, se debe de distinguir entre variables básicas, que son las que toman valores no nulos en la solución óptima (X_3 y X_4), y las variables no básicas, las cuales toman valores 0 (X_1 , X_2). Primero se analizan los coeficientes objetivos asociados a las variables no básicas, que toman los valores de 26 para la variable X_1 y 58 para la variable X_2 , entonces se dice que la solución actual ($X_1=0$, $X_2=0$, $X_3=8$, $X_4=2$) seguirá siendo óptima mientras que estos coeficientes crezcan infinitamente o decrezcan hasta no más de 87.5 unidades para las variable X_1 y X_2 ; y de ocurrir ello las variables X_1 y X_2 se convertirían en variables básicas y la solución actual dejaría de ser óptima.

En cuanto a los coeficientes de las variables básicas que toma el valor de 14 para la variable X_3 , la solución seguirá siendo óptima siempre que este coeficiente crezca hasta no más de 29.16 unidades o el coeficiente decrezca hasta el infinito. En el caso del coeficiente de valor de 46 para la variable X_4 , la solución seguirá siendo óptima si este coeficiente crece hasta el infinito o el coeficiente decrezca hasta no más de 38.88 unidades.

Continuando el análisis con los cambios en la disponibilidad de los recursos de la empresa. En este caso se necesitan 8 rollos de 108cm y 32 rollos de 76cm de ancho, se pueden producir cambios en estos valores que afectarían también el valor de la solución óptima. A pesar de ello, si el parámetro que varia lo hace dentro del rango predeterminado, se puede predecir (vía precios sombras) como este cambio afectara a la función objetivo, pues el conjunto de variables básicas de la solución no variará

Como se ha comentado, el precio dual asociado a una restricción informa en cuanto mejoraría el valor de la función objetivo si se incrementa la restricción en una unidad, ello da una idea de la cantidad

que se estaría dispuesto a pagar por cada unidad adicional del recurso asociado. Por supuesto no es posible seguir aumentando indefinidamente los recursos disponibles sin que ello afecte a la definición actual de variables básicas y no básicas. La información que el LINDO proporciona es, precisamente, el rango en el cual este precio sombras es válido. Así en la primera restricción que se tiene se puede aumentar este valor hasta un total de 10.66 unidades ($8+2.66$), disminuyendo el valor de la función objetivo en unos 54.66 unidades ($2.66*20.5$). Y en la segunda restricción no se permite aumentar el valor ya que si se aumenta una unidad la función objetivo en vez de disminuir aumentaría en 11.50 unidades por cada unidad de recurso adicional; pero si se puede disminuir esta hasta 24 unidades ($32-8$), pero el valor de la función objetivo aumentara en 92 unidades ($11.5*8$).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el presente estudio estamos demostrando que el análisis Situacional es una herramienta muy potente poco explorada a nivel local, la cual nos brinda óptimos resultados que contribuyen al buen desarrollo de nuestro plan de producción ya que nos permite identificar cuando donde y como se puede modificar los procesos y apoyados en la Programación Lineal podemos identificar nuestros modelos a solucionar y utilizando el métodos Simplex para obtener una solución factible que permita optimizar el consumo de los materiales para la producción.

El sistema de control de la producción es fácil de llevar pues el diseño de los formatos de ingreso de datos debe de ser sencillo para los usuarios, la complejidad está en la evaluación y tabulación de la data para obtener resultados factibles

El Buen manejo del sistema de control de insumos se presta como una herramienta poderosa que apoya la toma de decisiones ya que permite identificar cuales procesos deben de ser modificados o en que debemos mejorar para poder obtener una menor cantidad de mermas y esto incurre en un mayor margen de ganancias.

Este mismo estudio no solo se puede aplicar al área de Filmación de fotolitos, sino puede proyectarse al área de Diseño de Gigantografías como una segunda etapa del proyecto.

A su vez se está demostrando que existe un campo de trabajo no explorado por los Investigadores Operativos ya que trabajos similares solo han sido realizados por profesionales de carreras afines, siendo un campo fácil de asumir por un profesional en Investigación operativa, ya

que contamos con los conocimientos y herramientas necesarias para su desarrollo.

También se afirma que para un Investigador de Operaciones es importante el conocer y manejar Herramientas informáticas ya que plasma tanto el conocimiento teórico como el tecnológico y es capaz de desarrollar su propia creatividad para resolver problemas.

Por todo lo expuesto se RECOMENDÓ la implementación inmediata de este proyecto, lo cual involucró el cambio en el sistema de cortes de rollos de película, lo cual desde su implementación viene trayendo grandes beneficios financieros a la empresa, y con ello ir alcanzando sus objetivos trazados, también se recomendó que se continúe realizando proyectos de investigación en otros productos que produce esta empresa, lo cual muestra viabilidad gracias a lo acertado del presente proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dyckhoff Harald.
"A Typology of cutting and packing Problems" (1990), European Journal
of operation research

- [2] Fernández Jorge
"Conceptos Matemáticos útiles en microeconomía"

- [3] Gerez & Grijalva M.
"El Enfoque de Sistemas", LIMUSA, México, 1986.

- [4] Green James ,1985.
"Control de la Producción"

- [5] Machuca Alejandro, 1998.
"Investigación de Operaciones"

- [6] Kothler Philip
"Análisis de Sistemas" 1996.

- [7] Lomba Paul
"N.P. Linear Programing: An introductory Analysis" , Ney York, 1964.

- [8] Prawda Juan (tomo II),1987.
"Métodos y modelos de Investigación Operativa"

- [9] Steiner Rudolf
"Análisis de Sistemas", 1994.

- [10] Taha Hamdy A.
"Investigación de Operaciones". México DF. 1995.

- [11] Thome & Willard
"Análisis de Sistemas", México DF 1989.

- [12] Van Gigch Jhon "Teoría General de Sistemas"
México DF, 1990.

- [13] Programación Entera y Branch & Bound
http://www.investigacionoperativa.com/programacion_entera.html

- [14] Programación Lineal y Método Simplex
[http://www.arquimedex.com/index.php?option=com_content&task=view
&id=85&Itemid=40](http://www.arquimedex.com/index.php?option=com_content&task=view&id=85&Itemid=40)

ROLLO 01 MAQUINA HERKULES

centimetros		CENTIMETROS CUADRADOS					
cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	352	26752	24064	0	0	2688	10.05%
2	577	43852	31485.6	0	0	12366.4	28.20%
3	313	23788	20367	0	0	3421	14.38%
4	54	4104	3633.67	0	0	470.33	11.46%
5	215	16340	11197.2	0	0	5142.8	31.47%
6	66	5016	4237.05	0	0	778.95	15.53%
7	171	12996	10945.2	0	0	2050.8	15.78%
8	194	14744	13022.24	0	0	1721.76	11.68%
9	934	70984	50728.82	9936	0	10319.18	14.54%
10	559	42484	29646.4	0	0	12837.6	30.22%
11	364	27664	17065.44	0	0	10598.56	38.31%
12	570	43320	29588.47	0	0	13731.53	31.70%
13	384	29184	22057	0	0	7127	24.42%
14	676	51376	41478	0	0	9898	19.27%
15	322	24472	20448	0	0	4024	16.44%
16	229	17404	15118.2	0	0	2285.8	13.13%
5980		454480	345082.29	9936	0	99461.71	21.9%

ROLLO 2

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	350	26600	21544	0	0	5056	19%
2	1867	141892	109237	2400	0	30255	21%
3	188	14288	12443.14	0	0	1844.86	13%
4	114	8664	6444	0	0	2220	26%
5	645	49020	41864.5	0	0	7155.5	15%
6	329	25004	17971	0	0	7033	28%
7	207	15732	11198.07	0	0	4533.93	29%
8	320	24320	15322.44	0	0	8997.56	37%
9	430	32680	25200.09	0	0	7479.91	23%
10	1530	116280	102726.92	0	0	13553.08	12%
5980		454480	363951.16	2400	0	88128.84	19.4%

ROLLO 3

centimetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	545	41420	39916.72	0	0	1503.28	4%
2	1229	93404	72405.48	0	0	20998.52	22%
3	1000	76000	63351	0	0	12649	17%
4	1940	147440	125074.4	0	0	22365.6	15%
5	1266	96216	72269.1	0	0	23946.9	25%
	5980	454480	373016.7	0	0	81463.3	17.9%

ROLLO 4

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	200	15200	0	13552	0	1648	11%
2	273	20748	16651.65	1294.67	0	2801.68	14%
3	199	15124	12801.68	0	0	2322.32	15%
4	727	55252	45273.78	0	0	9978.22	18%
5	869	66044	50431.81	0	0	15612.19	24%
6	398	30248	25690.95	1332.5	0	3224.55	11%
7	451	34276	30174.84	0	0	4101.16	12%
8	381	28956	19342.8	0	0	9613.2	33%
9	109	8284	4505	0	0	3779	46%
10	480	36480	31283.75	0	0	5196.25	14%
11	650	49400	40137.8	0	0	9262.2	19%
12	800	60800	45076	0	0	15724	26%
13	325	24700	21372.5	0	0	3327.5	13%
14	118	8968	8094	0	0	874	10%
5980		454480	350836.56	16179.17	0	87464.27	19.2%

ROLLO 5

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	650	49400	37047.8	0	0	12352.2	25%
2	800	60800	52370	0	0	8430	14%
3	150	11400	10272.25	0	0	1127.75	10%
4	75	5700	3505.5	0	0	2194.5	39%
5	600	45600	36987.05	0	0	8612.95	19%
6	108	8208	5859	0	0	2349	29%
7	700	53200	44048.65	0	0	9151.35	17%
8	284	21584	15538.58	0	0	6045.42	28%
9	510	38760	34700.21	0	0	4059.79	10%
10	183	13908	10884.42	0	0	3023.58	22%
11	1210	91960	76572.85	0	0	15387.15	17%
12	710	53960	47940.6	0	0	6019.4	11%
5980		454480	375726.91	0	0	78753.09	17.3%

ROLLO 6

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	581	44156	39775	0	0	4381	10%
2	700	53200	33632.96	0	0	19567.04	37%
3	462	35112	23172.68	0	0	11939.32	34%
4	752	57152	41233.6	0	0	15918.4	28%
5	1600	121600	104632	0	0	16968	14%
6	460	34960	21779.04	0	0	13180.96	38%
7	410	31160	20408.9	0	0	10751.1	35%
8	523	39748	36293.52	0	0	3454.48	9%
9	492	37392	32428.88	0	0	4963.12	13%
5980		454480	353356.58	0	0	101123.4	22.3%

ROLLO 7

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	531	40356	30255.36	0	0	10100.64	25%
2	441	33516	25593.2	0	0	7922.8	24%
3	683	51908	46423.72	0	0	5484.28	11%
3	416	31616	23638	0	0	7978	25%
3	320	24320	20049.9	0	0	4270.1	18%
3	436	33136	29827	0	0	3309	10%
3	588	44688	35143.88	0	0	9544.12	21%
8	930	70680	62036.7	0	0	8643.3	12%
9	1635	124260	95015.38	0	0	29244.62	24%
5980		454480	367983.14	0	0	86496.86	19.0%

ROLLO 8

centimetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	940	71440	61902.5	0	0	9537.5	13%
2	925	70300	55898	0	0	14402	20%
3	1431	108756	91069.36	0	0	17686.64	16%
4	1434	108984	89477	0	0	19507	18%
5	1250	95000	82360	0	0	12640	13%
	5980	454480	380706.86	0	0	73773.14	16.2%

ROLLO 9

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	166	12616	9216.8	0	0	3399.2	27%
2	481	36556	29205.05	0	0	7350.95	20%
3	962	73112	61055.01	0	0	12056.99	16%
4	676	51376	41171.28	0	0	10204.72	20%
5	684	51984	41384.66	0	0	10599.34	20%
6	1003	76228	60681.28	0	0	15546.72	20%
7	787	59812	47074.56	0	0	12737.44	21%
8	1221	92796	81536.22	0	0	11259.78	12%
5980		454480	371324.86	0	0	83155.14	18.3%

ROLLO 10

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	641	48716	36478.72	0	0	12237.28	25%
2	681	51756	41286.64	0	0	10469.36	20%
3	612	46512	40498.76	0	0	6013.24	13%
4	713	54188	46298.4	0	0	7889.6	15%
5	227	17252	12490.84	0	0	4761.16	28%
6	53	4028	3517.8	0	0	510.2	13%
7	79	6004	3379.2	0	0	2624.8	44%
8	261	19836	16718.9	0	0	3117.1	16%
9	125	9500	7767.32	0	0	1732.68	18%
10	661	50236	47627.56	0	0	2608.44	5%
11	450	34200	22615.85	0	0	11584.15	34%
12	856	65056	51566.4	0	0	13489.6	21%
13	621	47196	37164	0	0	10032	21%
5980		454480	367410.39	0	0	87069.61	19.2%

ROLLO 11

centimetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	780	59280	48721.5	0	0	10558.5	18%
2	2000	152000	131706.5	0	0	20293.5	13%
3	3200	243200	210374	0	0	32826	13%
	5980	454480	390802	0	0	63678	14.0%

ROLLO 12

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	2000	152000	109040	0	0	42960	28%
2	183	13908	10856.56	0	0	3051.44	22%
3	240	18240	13379.8	0	0	4860.2	27%
4	1403	106628	88946.4	0	0	17681.6	17%
5	730	55480	49544	0	0	5936	11%
6	767	58292	48469.96	0	0	9822.04	17%
7	209	15884	11989.25	0	0	3894.75	25%
8	130	9880	6136.53	0	0	3743.47	38%
9	215	16340	7975.66	0	0	8364.34	51%
10	103	7828	6430.72	0	0	1397.28	18%
5980		454480	352768.88	0	0	101711.1	22.4%

ROLLO 13

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	664	50464	34499.7	0	0	15964.3	32%
2	813	61788	57864.81	0	0	3923.19	6%
3	805	61180	50933.95	0	0	10246.05	17%
4	788	59888	54471.2	0	0	5416.8	9%
5	767	58292	47050.32	0	0	11241.68	19%
6	703	53428	30267.96	0	0	23160.04	43%
7	200	15200	12150	0	0	3050	20%
8	310	23560	16840.98	0	0	6719.02	29%
9	96	7296	6847.44	0	0	448.56	6%
10	225	17100	15524	0	0	1576	9%
11	344	26144	23674.35	0	0	2469.65	9%
12	265	20140	13375.08	0	0	6764.92	34%
5980		454480	363499.79	0	0	90980.21	20.0%

ROLLO 14

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	214	16264	14527.4	0	0	1736.6	11%
2	746	56696	46929.16	2223	0	7543.84	13%
3	360	27360	23440.2	0	0	3919.8	14%
4	610	46360	35576.16	0	0	10783.84	23%
5	742	56392	46044.15	1254.54	0	9093.31	16%
6	783	59508	40928	0	0	18580	31%
7	428	32528	22544.18	0	0	9983.82	31%
8	78	5928	4961	0	0	967	16%
9	76	5776	5248.4	0	0	527.6	9%
10	182	13832	10334.6	0	0	3497.4	25%
11	198	15048	13964.3	0	0	1083.7	7%
12	304	23104	18148.68	0	0	4955.32	21%
13	99	7524	6169.34	0	0	1354.66	18%
14	480	36480	34327.21	0	0	2152.79	6%
15	680	51680	32873.58	0	0	18806.42	36%
5980		454480	356016.36	3477.54	0	94986.1	20.9%

ROLLO 15

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	1000	76000	53369.26	0	0	22630.74	30%
2	1600	121600	99265.76	0	0	22334.24	18%
3	725	55100	52293.6	0	0	2806.4	5%
4	99	7524	6441.24	0	0	1082.76	14%
5	508	38608	31990.94	0	0	6617.06	17%
6	479	36404	15237.16	0	0	21166.84	58%
7	580	44080	31618.58	0	0	12461.42	28%
8	354	26904	22446.13	0	0	4457.87	17%
9	169	12844	10736.3	0	0	2107.7	16%
10	230	17480	16858.85	0	0	621.15	4%
11	236	17936	14927.4	0	0	3008.6	17%
5980		454480	355185.22	0	0	99294.78	21.8%

ROLLO 16

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	74	5624	4210.78	0	0	1413.22	25%
2	200	15200	11820.64	1838.9	0	1540.46	10%
3	203	15428	9212.87	0	0	6215.13	40%
4	648	49248	38102.32	0	0	11145.68	23%
5	971	73796	70071.33	2892.75	0	831.92	1%
6	449	34124	26961.67	0	0	7162.33	21%
7	1294	98344	87370.18	0	0	10973.82	11%
8	956	72656	52080	0	0	20576	28%
9	789	59964	50431.76	0	0	9532.24	16%
10	396	30096	21034.65	0	0	9061.35	30%
5980		454480	371296.2	4731.65	0	78452.15	17.3%

ROLLO 17

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	730	55480	43152	0	0	12328	22%
2	78	5928	5494	0	0	434	7%
3	66	5016	3834	0	0	1182	24%
4	116	8816	6759.8	0	0	2056.2	23%
5	114	8664	5839.5	0	0	2824.5	33%
6	468	35568	26667.8	0	0	8900.2	25%
7	291	22116	19621.84	0	0	2494.16	11%
8	149	11324	9063.6	0	0	2260.4	20%
9	236	17936	16157.56	0	0	1778.44	10%
10	592	44992	32196.38	0	0	12795.62	28%
11	399	30324	24788.44	255	0	5280.56	17%
12	495	37620	26918.19	0	0	10701.81	28%
13	295	22420	18112.34	0	0	4307.66	19%
14	76	5776	3672.2	0	0	2103.8	36%
15	627	47652	38622.74	0	0	9029.26	19%
16	743	56468	42473.8	0	0	13994.2	25%
17	505	38380	29143.76	0	0	9236.24	24%
5980		454480	352517.95	255	0	101707.1	22.4%

ROLLO 18

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	500	38000	31272.32	0	0	6727.68	18%
2	406	30856	25104.34	0	0	5751.66	19%
3	226	17176	15051.08	0	0	2124.92	12%
4	1889	143564	109357.69	0	0	34206.31	24%
5	800	60800	55211.29	0	0	5588.71	9%
6	595	45220	43716.21	0	0	1503.79	3%
7	1064	80864	70017.85	0	0	10846.15	13%
8	500	38000	27660.6	0	0	10339.4	27%
5980		454480	377391.38	0	0	77088.62	17.0%

ROLLO 19

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	1215	92340	79209.9	0	0	13130.1	14%
2	830	63080	47489.7	0	0	15590.3	25%
3	678	51528	40103.68	0	0	11424.32	22%
4	598	45448	34219.49	0	0	11228.51	25%
5	403	30628	24380.7	0	0	6247.3	20%
6	147	11172	9929.98	143.5	0	1098.52	10%
7	176	13376	11427.72	0	0	1948.28	15%
8	80	6080	4090.8	0	0	1989.2	33%
9	100	7600	6864	0	0	736	10%
10	251	19076	17520.25	0	0	1555.75	8%
11	363	27588	21221.12	0	0	6366.88	23%
12	131	9956	6246.57	0	0	3709.43	37%
13	385	29260	22410.13	0	0	6849.87	23%
14	623	47348	35729.92	0	0	11618.08	25%
5980		454480	360843.96	143.5	0	93492.54	20.6%

ROLLO 20

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	97	7372	6612	0	0	760	10%
2	404	30704	25145.6	0	0	5558.4	18%
3	862	65512	62531.93	0	0	2980.07	5%
4	496	37696	24087.7	0	0	13608.3	36%
5	763	57988	33526.36	0	0	24461.64	42%
6	591	44916	36736.32	0	0	8179.68	18%
7	600	45600	41538.1	0	0	4061.9	9%
8	468	35568	30950.54	0	0	4617.46	13%
9	273	20748	18304	0	0	2444	12%
10	117	8892	6311.76	0	0	2580.24	29%
11	287	21812	10405.03	0	0	11406.97	52%
12	36	2736	2024.27	0	0	711.73	26%
13	283	21508	18043.66	0	0	3464.34	16%
14	253	19228	14837.59	0	0	4390.41	23%
15	450	34200	24727.88	0	0	9472.12	28%
5980		454480	355782.74	0	0	98697.26	21.7%

ROLLO 21

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	869	66044	58071.32	0	0	7972.68	12%
2	440	33440	26723.84	0	0	6716.16	20%
3	573	43548	36570.4	0	0	6977.6	16%
4	573	43548	31370.91	0	0	12177.09	28%
5	500	38000	27240.6	0	0	10759.4	28%
6	826	62776	54487.32	0	0	8288.68	13%
7	350	26600	20108.48	0	0	6491.52	24%
8	217	16492	13679.94	0	0	2812.06	17%
9	480	36480	23011	0	0	13469	37%
10	391	29716	12763.52	0	0	16952.48	57%
11	246	18696	13253.16	0	0	5442.84	29%
12	515	39140	34850.24	0	0	4289.76	11%
5980		454480	352130.73	0	0	98059.51	21.6%

ROLLO 22

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	806	61256	45817.8	0	0	15438.2	25%
2	371	28196	24407.2	0	0	3788.8	13%
3	710	53960	47880	0	0	6080	11%
4	45	3420	2800	0	0	620	18%
5	127	9652	8124.6	1160.32	0	367.08	4%
6	118	8968	8347	0	0	621	7%
7	293	22268	17726.24	0	0	4541.76	20%
8	400	30400	17662.22	0	0	12737.78	42%
9	668	50768	44845.07	0	0	5922.93	12%
10	428	32528	27826.6	0	0	4701.4	14%
11	418	31768	30435.04	0	0	1332.96	4%
12	729	55404	39732.31	0	0	15671.69	28%
13	681	51756	34948.9	0	0	16807.1	32%
14	186	14136	9112.2	0	0	5023.8	36%
5980		454480	359665.18	1160.32	0	93654.5	20.6%

ROLLO 23

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	454	34504	22209	0	0	12295	36%
2	608	46208	31031.22	0	0	15176.78	33%
3	1078	81928	71917.76	0	0	10010.24	12%
4	430	32680	15900.7	0	0	16779.3	51%
5	524	39824	21013.28	0	0	18810.72	47%
6	291	22116	12370	4552.8	0	5193.2	23%
7	38	2888	2116.02	0	0	771.98	27%
8	246	18696	16508	0	0	2188	12%
9	168	12768	11328	0	0	1440	11%
10	180	13680	11429.83	0	0	2250.17	16%
11	548	41648	38842.11	0	0	2805.89	7%
12	270	20520	19120.78	0	0	1399.22	7%
13	278	21128	19176.92	0	0	1951.08	9%
14	335	25460	24371.09	0	0	1088.91	4%
15	532	40432	38159.82	0	0	2272.18	6%
5980		454480	355494.53	4552.8	0	94432.67	20.8%

ROLLO 24

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	620	47120	45538	0	0	1582	3%
2	1700	129200	89569.84	0	0	39630.16	31%
3	600	45600	41525.62	0	0	4074.38	9%
4	663	50388	47265.4	0	0	3122.6	6%
5	632	48032	42780.4	0	0	5251.6	11%
6	73	5548	3376.8	763	0	1408.2	25%
7	79	6004	5228.8	0	0	775.2	13%
8	105	7980	5544	0	0	2436	31%
9	113	8588	6146.4	0	0	2441.6	28%
10	316	24016	17650.16	0	0	6365.84	27%
11	360	27360	13847.62	0	0	13512.38	49%
12	519	39444	26312.54	0	0	13131.46	33%
13	200	15200	7337.1	0	0	7862.9	52%
5980		454480	352122.68	763	0	101594.3	22.4%

ROLLO 25

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	885	67260	52482	0	0	14778	22%
2	1367	103892	80979	1218	0	21695	21%
3	730	55480	43544.72	0	0	11935.28	22%
4	1297	98572	78106.76	0	0	20465.24	21%
5	1048	79648	75767.52	0	0	3880.48	5%
6	653	49628	37796.88	0	0	11831.12	24%
5980		454480	368676.88	1218	0	84585.12	18.6%

ROLLO 26

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	477	36252	31887.65	0	0	4364.35	12%
2	330	25080	23691.4	0	0	1388.6	6%
3	116	8816	6010	0	0	2806	32%
4	276	20976	15084.3	0	0	5891.7	28%
5	1034	78584	62044.03	0	0	16539.97	21%
6	601	45676	42327.5	0	0	3348.5	7%
7	246	18696	17500	0	0	1196	6%
8	68	5168	4149.76	0	0	1018.24	20%
9	289	21964	18058.95	0	0	3905.05	18%
10	382	29032	22965.32	0	0	6066.68	21%
11	230	17480	16294	0	0	1186	7%
12	551	41876	33193.59	0	0	8682.41	21%
13	781	59356	39828.98	0	0	19527.02	33%
14	599	45524	30342.4	0	0	15181.6	33%
5980		454480	363377.88	0	0	91102.12	20.0%

ROLLO 27

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	799	60724	46933.28	0	0	13790.72	23%
2	1024	77824	53460.5	0	0	24363.5	31%
3	636	48336	33255.64	0	0	15080.36	31%
4	360	27360	20177.56	0	0	7182.44	26%
5	645	49020	23287.2	22647.2	0	3085.6	6%
6	261	19836	15358.14	0	0	4477.86	23%
7	704	53504	41687.5	0	0	11816.5	22%
8	436	33136	25622.04	0	0	7513.96	23%
9	1115	84740	69813.12	0	0	14926.88	18%
5980		454480	329594.98	22647.2	0	102237.8	22.5%

ROLLO 28

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	508	38608	30985.64	0	0	7622.36	20%
2	590	44840	41124.84	0	0	3715.16	8%
3	490	37240	33432.24	0	0	3807.76	10%
4	697	52972	46554.64	0	0	6417.36	12%
5	757	57532	45235	0	0	12297	21%
6	757	57532	45235	0	0	12297	21%
7	757	57532	45235	0	0	12297	21%
8	757	57532	45235	0	0	12297	21%
9	667	50692	36188	0	0	14504	29%
5980		454480	369225.36	0	0	85254.64	18.8%

ROLLO 29

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	600	45600	38298.25	0	0	7301.75	16%
2	267	20292	11786.88	0	0	8505.12	42%
3	163	12388	7677.8	0	0	4710.2	38%
4	124	9424	7949.6	0	0	1474.4	16%
5	294	22344	17892.34	0	0	4451.66	20%
6	678	51528	36898.56	0	0	14629.44	28%
7	1010	76760	63452.7	0	0	13307.3	17%
8	875	66500	55057.6	0	0	11442.4	17%
9	733	55708	45566.92	0	0	10141.08	18%
10	856	65056	51777.28	0	0	13278.72	20%
11	380	28880	22714.48	0	0	6165.52	21%
	5980	454480	359072.41	0	0	95407.59	21.0%

ROLLO 30

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	120	9120	6848	0	0	2272	25%
2	284	21584	12078.9	3901.5	0	5603.6	26%
3	529	40204	36132.16	0	0	4071.84	10%
4	310	23560	19751.8	0	0	3808.2	16%
5	890	67640	52886.63	0	0	14753.37	22%
6	490	37240	31643.76	0	0	5596.24	15%
7	640	48640	35300	0	0	13340	27%
8	368	27968	21625.98	0	0	6342.02	23%
9	356	27056	17673.55	0	0	9382.45	35%
10	668	50768	40710.19	0	0	10057.81	20%
11	800	60800	52655.61	0	0	8144.39	13%
12	525	39900	26662	0	0	13238	33%
5980		454480	353968.58	3901.5	0	96609.92	21.3%

ROLLO 31

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	369	28044	18120.95	0	0	9923.05	35%
2	197	14972	10307.5	0	0	4664.5	31%
3	220	16720	14102.76	0	0	2617.24	16%
4	1950	148200	108967.25	0	0	39232.75	26%
5	555	42180	41108.66	0	0	1071.34	3%
6	260	19760	17019.78	0	0	2740.22	14%
7	250	19000	18447.2	0	0	552.8	3%
8	1000	76000	57954.33	0	0	18045.67	24%
9	1179	89604	81324.88	0	0	8279.12	9%
5980		454480	367353.31	0	0	87126.69	19.2%

ROLLO 32

centímetros

CENTIMETROS CUADRADOS

cortes	dimension	área total	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	993	75468	61234.1	0	0	14233.9	19%
2	472	35872	30215.58	0	0	5656.42	16%
3	320	24320	21942.2	0	0	2377.8	10%
4	2091	158916	137327.1	0	0	21588.9	14%
5	636	48336	38872.76	0	0	9463.24	20%
6	700	53200	38649.96	0	0	14550.04	27%
7	542	41192	33271.48	0	0	7920.52	19%
8	113	8588	7236	0	0	1352	16%
9	113	8588	4454	0	0	4134	48%
5980		454480	373203.18	0	0	81276.82	17.9%

RESUMEN ESTADISTICO DE ROLLOS - 76CM MAQUINA HERKULES

	centímetros		CENTÍMETROS CUADRADOS						
Rollo	Dimension	CORTE DE INSTALACION	AREA DE INSTALACION	área total Útil	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	345,082.29	9,936.00	-	99,461.71	21.9%
2	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	363,951.16	2,400.00	-	88,128.84	19.4%
3	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	373,016.70	-	-	81,463.30	17.9%
4	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	350,836.56	16,179.17	-	87,464.27	19.2%
5	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	375,726.91	-	-	78,753.09	17.3%
6	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	353,356.58	-	-	101,123.42	22.3%
7	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	367,983.14	-	-	86,496.86	19.0%
8	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	380,706.86	-	-	73,773.14	16.2%
9	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	371,324.86	-	-	83,155.14	18.3%
10	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	367,049.26	-	-	87,430.74	19.2%
11	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	390,802.00	-	-	63,678.00	14.0%
12	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	352,768.88	-	-	101,711.12	22.4%
13	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	363,499.79	-	-	90,980.21	20.0%
14	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	356,016.36	3,477.54	-	94,986.10	20.9%
15	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	355,185.22	-	-	99,294.78	21.8%
16	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	371,296.20	4,731.65	-	78,452.15	17.3%
17	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	352,517.95	255.00	-	101,707.05	22.4%
18	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	377,391.38	-	-	77,088.62	17.0%
19	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	360,843.96	143.50	-	93,492.54	20.6%
20	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	355,782.74	-	-	98,697.26	21.7%
21	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	352,130.73	-	-	98,059.51	21.6%
22	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	359,665.18	1,160.32	-	93,654.50	20.6%
23	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	355,494.53	4,552.80	-	94,432.67	20.8%
24	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	352,122.68	763.00	-	101,594.32	22.4%
25	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	368,676.88	1,218.00	-	84,585.12	18.6%
26	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	363,377.88	-	-	91,102.12	20.0%
27	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	329,594.98	22,647.20	-	102,237.82	22.5%
28	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	369,225.36	-	-	85,254.64	18.8%
29	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	359,072.41	-	-	95,407.59	21.0%
30	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	353,968.58	3,901.50	-	96,609.92	21.3%
31	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	367,353.31	-	-	87,126.69	19.2%
32	5,980.00	20.00	1,520.00	454,480.00	373,203.18	-	-	81,276.82	17.9%
						PROMEDIO GENERAL			19.8%

ROLLO 1 - MAQUINA SIGNA

Area util	Area Facturada	Area de Reposiciones	Area Dañada	Merma	%
51408	40950	0	0	10458	20.3%
75600	67200	0	0	8400	11.1%
51624	33581.25	0	0	18042.75	35.0%
22248	19118.7	0	0	3129.3	14.1%
27648	21464.16	0	0	6183.84	22.4%
27756	21424.16	0	0	6331.84	22.8%
27756	21424.16	0	0	6331.84	22.8%
20520	18121.05	0	0	2398.95	11.7%
34128	32011.2	0	0	2116.8	6.2%
29700	20007	0	0	9693	32.6%
34344	31960	0	0	2384	6.9%
34344	31960	0	0	2384	6.9%
24732	22695	0	0	2037	8.2%
24732	22695	0	0	2037	8.2%
34344	27795	0	0	6549	19.1%
15876	1344	0	0	14532	91.5%
27216	23520	0	0	3696	13.6%
23976	15785	0	0	8191	34.2%
57888	46550	0	0	11338	19.6%

645840	519605.68	0	0	126234.32	19.5%
---------------	------------------	----------	----------	------------------	--------------

ROLLO 2 - MAQUINA SIGNA

Area util	Area Facturada	Area de Reposiciones	Area Dañada	Merma	%
58320	50618.4	0	0	7701.6	13.2%
55620	49350	0	0	6270	11.3%
27216	22082	0	0	5134	18.9%
17820	14292	0	0	3528	19.8%
118476	78860.8	0	0	39615.2	33.4%
101088	69639.5	0	0	31448.5	31.1%
67500	47334.4	0	0	20165.6	29.9%
28296	22260	0	0	6036	21.3%
29268	22743	0	0	6525	22.3%
22896	19065	0	0	3831	16.7%
43740	35420	0	0	8320	19.0%
37800	34960	0	0	2840	7.5%
37800	34960	0	0	2840	7.5%

645840	501585.1	0	0	144254.9	22.3%
---------------	-----------------	----------	----------	-----------------	--------------

ROLLO 3 - MAQUINA SIGNA

Area util	Area Facturada	Area de Reposiciones	Area Dañada	Merma	%
36828	33290.6	0	0	3537.4	9.6%
42984	33605.25	0	0	9378.75	21.8%
17064	16758	0	0	306	1.8%
29376	24990	0	0	4386	14.9%
37800	33075	0	0	4725	12.5%
29376	27268.5	0	0	2107.5	7.2%
42120	29767.5	0	0	12352.5	29.3%
25056	21504	0	0	3552	14.2%
22248	17303	0	0	4945	22.2%
22896	18231	0	0	4665	20.4%
46008	36936	0	0	9072	19.7%
46008	36936	0	0	9072	19.7%
44496	30622.56	0	0	13873.44	31.2%
36072	33320.25	0	0	2751.75	7.6%
40716	38632.5	0	0	2083.5	5.1%
50112	37475.2	0	0	12636.8	25.2%
27540	14256	0	0	13284	48.2%
49140	36864	0	0	12276	25.0%

645840	520835.36	0	0	125004.64	19.4%
---------------	------------------	----------	----------	------------------	--------------

ROLLO 4 - MAQUINA SIGNA

Area util	Area Facturada	Area de Reposiciones	Area Dañada	Merma	%
31320	23765	0	0	7555	24.1%
49356	40546.25	0	0	8809.75	17.8%
39960	35490	0	0	4470	11.2%
32184	21829.5	0	0	10354.5	32.2%
38880	33825	0	0	5055	13.0%
32616	27720	0	0	4896	15.0%
16524	14178	0	0	2346	14.2%
18036	0	5054	0	12982	72.0%
16848	13328	0	0	3520	20.9%
17388	16933.95	0	0	454.05	2.6%
29808	22440	0	0	7368	24.7%
29808	22440	0	0	7368	24.7%
29808	22440	0	0	7368	24.7%
15552	14960	0	0	592	3.8%
29808	26180	0	0	3628	12.2%
20304	18700	0	0	1604	7.9%
42984	33736.5	0	0	9247.5	21.5%
34560	25743.9	0	0	8816.1	25.5%
41256	32712	0	0	8544	20.7%
45576	33736.5	0	0	11839.5	26.0%
33264	25743.9	0	0	7520.1	22.6%
645840	506448.5	5054	0	134337.5	20.8%

ROLLO 5 - MAQUINA SIGNA

Area util	Area Facturada	Area de Reposiciones	Area Dañada	Merma	%
33480	29882.16	0	0	3597.84	10.7%
35640	30650.4	0	0	4989.6	14.0%
38880	32832.2	0	0	6047.8	15.6%
38880	32585	0	0	6295	16.2%
56160	42722.96	0	0	13437.04	23.9%
55080	44851.8	0	0	10228.2	18.6%
45360	44028.67	0	0	1331.33	2.9%
11880	11115.16	0	0	764.84	6.4%
37800	21744	0	0	16056	42.5%
41040	36432	0	0	4608	11.2%
39960	36432	0	0	3528	8.8%
58320	47577.6	0	0	10742.4	18.4%
18360	12028.52	0	0	6331.48	34.5%
37800	30071.3	0	0	7728.7	20.4%
38880	29120	0	0	9760	25.1%
12960	8584.5	0	0	4375.5	33.8%
45360	25304.58	0	0	20055.42	44.2%

645840	515962.85	0	0	129877.15	20.1%
---------------	------------------	----------	----------	------------------	--------------

ROLLO 6 - MAQUINA SIGNA

Area util	Area Facturada	Area de Reposiciones	Area Dañada	Merma	%
38772	31518	0	0	7254	18.7%
37152	28890.4	0	0	8261.6	22.2%
38448	30600	0	0	7848	20.4%
24408	22440	0	0	1968	8.1%
24408	22440	0	0	1968	8.1%
24408	22440	0	0	1968	8.1%
19332	14415.75	0	0	4916.25	25.4%
52920	42337.12	0	0	10582.88	20.0%
11340	9671.97	0	0	1668.03	14.7%
41688	30380	0	0	11308	27.1%
33480	26491.36	0	0	6988.64	20.9%
46656	34512.66	0	0	12143.34	26.0%
11556	9559.2	0	0	1996.8	17.3%
27432	17734.4	0	0	9697.6	35.4%
31212	25044.15	0	0	6167.85	19.8%
60480	54832.8	0	0	5647.2	9.3%
19656	18513	0	0	1143	5.8%
34236	26146.4	0	0	8089.6	23.6%
11880	5316	0	0	6564	55.3%
27000	16000	0	0	11000	40.7%
12744	5474	0	0	7270	57.0%
16632	8548.8	0	0	8083.2	48.6%
645840	503306.01	0	0	142533.99	22.1%

ROLLO 7 - MAQUINA SIGNA

Area util	Area Facturada	Area de Reposiciones	Area Dañada	Merma	%
39204	29817.2	0	0	9386.8	23.9%
28188	20671.2	0	0	7516.8	26.7%
35424	32759.04	0	0	2664.96	7.5%
35424	32759.04	0	0	2664.96	7.5%
32616	27316.8	0	0	5299.2	16.2%
15876	11173.44	0	0	4702.56	29.6%
50112	41364.4	0	0	8747.6	17.5%
35208	29631.42	0	0	5576.58	15.8%
31644	25771.2	0	0	5872.8	18.6%
13932	11169	0	0	2763	19.8%
15444	14446.08	0	0	997.92	6.5%
15444	14446.08	0	0	997.92	6.5%
15444	14446.08	0	0	997.92	6.5%
11232	10296	0	0	936	8.3%
11232	10296	0	0	936	8.3%
18684	13411.2	0	0	5272.8	28.2%
18684	13411.2	0	0	5272.8	28.2%
45684	36426.84	0	0	9257.16	20.3%
16308	9424.8	0	0	6883.2	42.2%
12744	9424.8	0	0	3319.2	26.0%
22356	16988.4	0	0	5367.6	24.0%
28188	25841.2	0	0	2346.8	8.3%
22356	19819.8	0	0	2536.2	11.3%
29808	26385.6	0	0	3422.4	11.5%
44604	23643.6	0	0	20960.4	47.0%
645840	521140.42	0	0	124699.58	19.3%

ROLLO 8 - MAQUINA SIGNA

Area util	Area Facturada	Area de Reposiciones	Area Dañada	Merma	%
16632	10806.6	0	0	5825.4	35.0%
16632	10806.6	0	0	5825.4	35.0%
12204	9108	0	0	3096	25.4%
36072	26560.8	0	0	9511.2	26.4%
7236	6216	0	0	1020	14.1%
3564	2486.4	0	0	1077.6	30.2%
13392	9945.6	0	0	3446.4	25.7%
32832	26435	0	0	6397	19.5%
24948	22440	0	0	2508	10.1%
24948	22440	0	0	2508	10.1%
15444	14960	0	0	484	3.1%
16740	13296.6	0	0	3443.4	20.6%
17820	16843.32	0	0	976.68	5.5%
32832	26435	0	0	6397	19.5%
32832	26435	0	0	6397	19.5%
29052	24937.8	0	0	4114.2	14.2%
40932	32184	0	0	8748	21.4%
10476	10176.36	0	0	299.64	2.9%
14364	9839.7	0	0	4524.3	31.5%
22788	16399.5	0	0	6388.5	28.0%
20196	19760	0	0	436	2.2%
19980	14820	0	0	5160	25.8%
22356	15960	0	0	6396	28.6%
22356	15960	0	0	6396	28.6%
16092	14288	0	0	1804	11.2%
16092	14288	0	0	1804	11.2%
35748	25760	0	0	9988	27.9%
40716	33120	0	0	7596	18.7%
30564	24024	0	0	6540	21.4%

645840

516732.28

0

0

129107.72

20.0%

RESUMEN ESTADISTICO DE ROLLOS SIGNA

	centimetros		CENTIMETROS CUADRADOS						
Rollo	Dimension	CORTE DE INSTALACION	AREA DE INSTALACION	área Util	área facturada	área repuesta	área dañada	MERMA	%
1	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	519,605.68	-	-	126,234.32	19.5%
2	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	501,585.10	-	-	144,254.90	22.3%
3	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	520,835.36	-	-	125,004.64	19.4%
4	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	506,448.50	5,054.00	-	134,337.50	20.8%
5	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	515,962.85	-	-	129,877.15	20.1%
6	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	503,306.01	-	-	142,533.99	22.1%
7	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	521,140.42	-	-	124,699.58	19.3%
8	5,980.00	20.00	2,160.00	645,840.00	516,732.28	-	-	129,107.72	20.0%

PROMEDIO	20.4%
----------	-------